

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения

УДК 62–83–523.697.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Сапегин Вадим Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электропривод и автоматика»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Дементьев Ю.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Сапегину Вадиму Андреевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018г. №645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования является асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения.</p> <p>В качестве исходных данных представлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> - необходимая производительность вентилятора; - продолжительный режим работы; - вид сырья: воздух (газ).
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</p>	<ul style="list-style-type: none"> - проектирование асинхронного электропривода системы вентиляции производственного помещения; - расчет и построение механических и электромеханических характеристик электродвигателя; - моделирование в среде MatLab рассчитанного электродвигателя; - разработка скалярного управления; - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;

конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).		- разработка раздела «Социальная ответственность».	
Перечень графического материала			
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы			
Раздел		Консультант	
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Калмыкова Екатерина Юрьевна	
Социальная ответственность		Панин Владимир Филиппович	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:			
Описание технологического процесса вентиляции производственных помещений; Разработка функционального электропривода; Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя; Имитационное моделирование асинхронного двигателя, выполненной в неподвижной системе координат; Разработка системы скалярного управления Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность.			
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.			

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Сапегин Вадим Андреевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
Уровень образования Бакалавр
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ - ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.02.2018	Краткий обзор технологического процесса вентиляции производственных помещений	
05.03.2018	Расчёт и выбор силового оборудования регулируемого электропривода	
17.03.2018	Расчет и построение электромеханических и механических характеристик электропривода	
02.04.2018	Имитационное моделирование системы с помощью программы Matlab Simulink	
16.04.2018	Разработка системы скалярного управления	
21.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.05.2018	Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	к.т.н.		

Согласовано:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Сапегин Вадим Андреевич

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Сапегин Вадим Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Сапегин Вадим Андреевич

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></p> <p><i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Описание рабочего места дежурного инженера узла связи при работе с ИБП:</i></p> <p><i>- к вредным факторам производственной среды можно отнести повышенную или пониженную температуру воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение, повышенные уровни шума, электромагнитные поля, освещённость;</i></p> <p><i>- к опасным факторам производственной среды можно отнести опасность поражения электрическим током, пожароопасность, получение механической травмы;</i></p> <p><i>- к негативным факторам воздействия на окружающую среду можно отнести химический вред неправильно утилизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей</i></p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.033-81; СНиП 2.01.51-90; НПБ 105-03; ГОСТ 12.1.029-80; ГОСТ 12.4.125-83; ГОСТ Р 50571.2-94</i></p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение методы предотвращения их вредного воздействия - устройство отопления, вентиляции, применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4.011-89; - Повышенные уровни шума методы уменьшения вредного воздействия уменьшение в источнике, изменение направленности излучения ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ - Освещённость методы предотвращения вредного воздействия – правильное проектирование системы освещения СНиП 23.05-95
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, 	<ul style="list-style-type: none"> - Меры, предотвращающие опасность поражения электрическим током ГОСТ 12.1.030 – 81, ПУЭ; - Противопожарные меры ГОСТ 12.1.004-91, ППР

профилактикт.мероприятия)	
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	- способы борьбы с газообразными отходами - способы борьбы с жидкими и твердыми отходами - способы борьбы с сбросами и выбросами в окружающую среду
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- Возможных ЧС на узле связи и необходимые действия по разработке и осуществлении комплекса инженерно-технических мероприятий
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания разделена по линейному графику	16.03.18 г.
--	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Сапегин В.А.		

Реферат

Данный дипломный проект содержит 107 страниц, 15 таблиц, 57 рисунков и 27 используемых источников.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, скалярная система управления, преобразователь частоты, механические и электромеханические характеристики, электрооборудование, схема замещения.

Объектом проектирования является асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения.

Целью работы является: разработать асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения.

В выпускной квалификационной работе был выполнен расчет и выбор асинхронного электродвигателя, был произведен расчет и выбор преобразователя частоты, произведен выбор основных силовых элементов системы регулирования электропривода. Построены естественные электромеханические и механические характеристики электродвигателя. Разработана скалярная система управления, произведено моделирование асинхронного двигателя в неподвижной системе координат и проведена проверка работоспособности предлагаемого способа скалярного управления на основе имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MatLab 2013a.

Также в выпускной квалификационной работе, согласно полученному заданию, выполнены работы по разделу «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и разделу «Социальная ответственность».

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 на бумаге формата А4, с использованием программ: MathCAD 2013, пакет MATLAB 2013a, MathType.

Оглавление

Реферат	8
Введение.....	12
1. Технологический процесс вентиляции производственных помещений	14
1.1 История вентиляции	14
1.2 Типы вентиляторов	14
1.2.1 Осевой (аксиальный) вентилятор	15
1.2.2 Центробежный (радиальный) вентилятор	15
1.2.3 Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный).....	17
1.2.4 «Безлопастный» вентилятор	18
1.3 Классификация вентиляторов по исполнению	19
1.3.1 Многозональные вентиляторы	19
1.3.2 Канальные вентиляторы (прямоточные)	20
1.3.3 Вентиляторы крышные радиальные (ВКР)	20
1.4 Конструкция	21
1.5 Воздухообмен естественным путем	23
1.6 Местная вентиляция.....	26
1.7 Эффективность вентиляции	28
1.8 Выбор ЭП.....	29
1.9 Автоматизация работы вентиляторных установок.....	30
2. Разработка функционального электропривода.....	35
2.1 Вентиляция стояночного бокса	35
2.2 Электрооборудование стояночного бокса.....	38
2.3 Расчет и выбор асинхронного электродвигателя.....	42
2.4 Выбор вентилятора	42
2.5 Расчет и выбор преобразователя частоты	44
2.6 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода.....	47
2.6.1 Расчет инвертора	47
2.6.2 Расчет выпрямителя	50
2.6.3 Расчет параметров охладителя	52
2.6.4 Расчет фильтра	54
2.7 Расчет схемы замещения двигателя.....	55

Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя	55
2.8 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	59
2.9 Имитационная модель АД, выполненная в неподвижной системе координат	61
3. Разработка системы скалярного управления	65
3.1 Статические характеристики вентилятора при регулировании скорости по закону регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = const$ с IR-компенсацией	65
3.2 Проверка работоспособности предлагаемого способа скалярного управления на основе имитационной модели АД	69
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	79
4.1 Анализ конкурентных технических решений	79
5 Планирование научно-исследовательских работ.....	81
5.1 Структура работ в рамках научного исследования	81
5.2 Определение трудоёмкости работ	82
5.3 Разработка графика проведения научного исследования	83
6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	85
6.1 Материальные расходы	86
6.2 Амортизация	86
6.3 Основная заработная плата	87
6.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	88
6.5 Отчисления во внебюджетные фонды	89
6.6 Накладные расходы.....	90
6.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	90
7. Социальная ответственность	92
7.1 Анализ опасных и вредных факторов труда	92
7.2 Шум и вибрации	93
7.3 Освещение.....	95
7.4 Микроклимат	95
7.5 Электробезопасность	96
7.6 Пожарная безопасность	99
7.7 Охрана окружающей среды	101
7.8 Предотвращение ЧС и их последствий.....	102

Заключение	105
Список литературы	106

Введение

Данная дипломная работа посвящена разработке и проектированию частотно-регулируемого асинхронного электропривода приточной вентиляции стояночного бокса, в котором производится ремонт и обслуживание спецтехники.

Под вентиляцией понимают процесс удаления воздуха из помещения, взамен которого чистый воздух подается снаружи.

Приточная система вентиляции – это система, которая подает определенное количество воздуха в помещение, который может охлаждаться в летний период и подогреваться в зимний.

При работе спецтехники выделяется большое количество вредных веществ, которые негативно отражаются на здоровье рабочего персонала. Поэтому проект разработан на основании технического задания, архитектурно-строительных чертежей и действующих нормативных документов.

В данной приточной вентиляции установлен асинхронный электропривод, который имеет большие пусковые токи, что пагубно влияет на срок службы.

В современно обществе очень высока необходимость использования частотного способа управления асинхронной машиной, выгода от которого заметна не только в экономии потребляемой электрической энергии, но и в совершенствовании управления тех. процессом.

Техника применения частотно регулируемых приводов во всем мире активно используется уже более четверти века. За эти десятилетия проведен масштабный спектр мероприятий по разработке и совершенствованию технических средств управления электроприводом, а также по совершенствованию технологических процессов и оборудования. Создавались учебные пособия для обучения специалистов. В связи с этим в ряде стран уже имеется огромный опыт в применении технических решений при создании систем, которые непосредственно используют этот тип приводов.

Если анализировать ситуацию в нашей стране, то здесь дела обстоят несколько иначе: хотя использование полномасштабных интегрированных автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) взамен устаревших систем еще весьма незначительно, однако частотно

регулируемые электроприводы достаточно активно применяются для усовершенствования технологических установок и вентиляционных установок, в частности.

Таким образом, модернизация вентиляторов при помощи частотного регулирования привода приводит к значительному энергосбережению, к увеличению срока эксплуатации агрегатов системы, а также повышает уровень надежности системы в целом.

1. Технологический процесс вентиляции производственных помещений

1.1 История вентиляции

Вентилятор — это устройство перемещения газа. [1]

Применение вентиляторов: системы принудительной приточно-вытяжной и местной вентиляции в зданиях и помещениях, обдув охлаждающих и нагревательных элементов в устройствах для обогрева воздуха и его кондиционирования, а также обдувание радиаторов охлаждения различных приборов.

Мощные осевые вентиляторы могут использоваться в качестве движителя.

Еще в древности применялись отдельные приёмы организованной вентиляции закрытых помещений. До начала XIX века вентиляция помещений обычно сводилась к естественному проветриванию. Теория естественного движения воздуха в трубах и каналах была создана М. В. Ломоносовым. В. Х. Фрибе в 1795 году впервые описал основные положения, которые определяли интенсивность воздухообмена в отапливаемом помещении через неплотности наружных барьеров, окна и дверные проемы.

В XIX веке начинается развитие вентиляция с тепловым побуждением приточного и удаляемого воздуха из помещения. Отечественные учёные указывали несовершенство такого типа побуждения и свойственные ему большие расходы теплоты. Э. Х. Ленд отмечал, что полная вентиляция достигается только механическим способом.

После появления центробежных вентиляторов произошло быстрое совершенствование технологий вентиляции помещений. В 1832 году А. А. Саблуков предложил первый работавший центробежный вентилятор. В 1835 году такой вентилятор был применён на рудниках Алтая для проветривания. Большая популяризация вентиляции с механическим побуждением передвижения воздуха началась с конца XIX века.

1.2 Типы вентиляторов

Вентилятор в общем виде — это ротор, на котором закреплены лопатки определённым образом. Во время вращения ротора, лопатки сталкиваются с

воздухом (газом) и отбрасывают его. Направление отбрасывания воздуха (газа), зависит от формы лопаток и их положения. По типу конструкции выделяют несколько основных видов вентиляторов:

- осевые (аксиальные)
- центробежные (радиальные)
- диаметральные (тангенциальные)
- безлопастные (принципиально новый тип).

1.2.1 Осевой (аксиальный) вентилятор

Осевой вентилятор — это вентилятор, воздух в котором перемещается вдоль оси рабочего колеса, вращаемого двигателем. Этот вид вентилятора является наиболее распространенным из-за простоты изготовления, а также совпадения направления движения всасываемого и нагнетаемого воздуха.

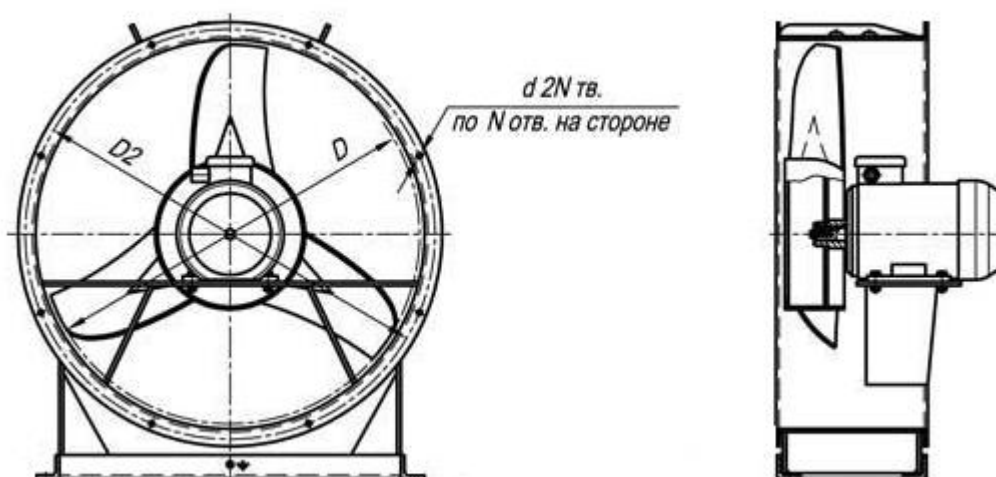


Рис.1. - Осевой вентилятор

Аксиальные вентиляторы применяются в качестве малых вентиляторов для охлаждения электроники, бытовых вентиляторов, вентиляторов для турбовентиляторных авиационных двигателей, вентиляторов дымоудаления, вентиляторов аэродинамических труб.

1.2.2 Центробежный (радиальный) вентилятор

Центробежный вентилятор в своей конструкции имеет вращающийся ротор. На ротор крепятся лопатки в форме спирали. Воздух, проходя сквозь входное

отверстие вентилятора, втягивается внутрь ротора, благодаря чему принимает вращательное движение и, вследствие особой формы лопаток и центробежной силы, направляется в выходное отверстие специального кожуха спиральной формы. Таким образом, выходная масса воздуха находится под прямым углом к входной. Такой тип вентилятора массово используется в промышленности.

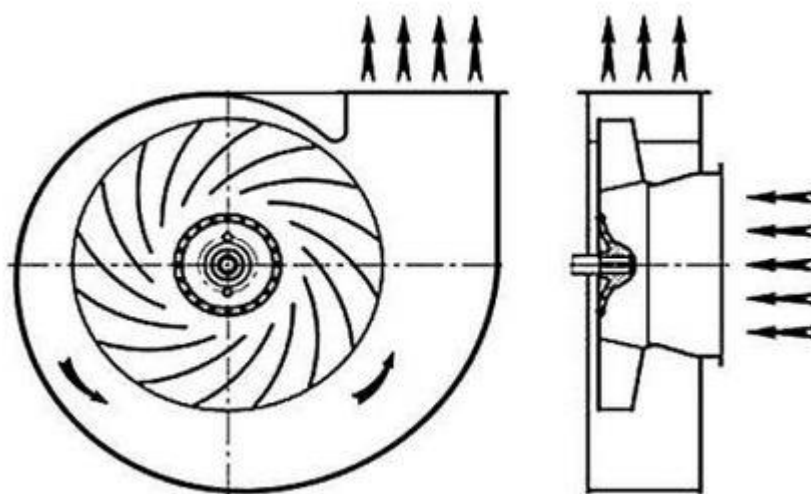


Рис.2. – Центробежный вентилятор

Количество лопаток рабочего колеса зависит от типа, размеров и назначения вентилятора, а сами лопатки производят загнутыми вперёд или назад (относительно направления вращения). При применении радиальных вентиляторов с загнутыми назад лопатками, можно сэкономить до 20% электроэнергии. Радиальные вентиляторы с загнутыми вперед лопатками рабочего колеса обладают следующими преимуществами: имеют меньший диаметр колеса, обладают меньшими размерами самого вентилятора, а также им свойствен низкий шум.

Центробежные вентиляторы делятся на следующие категории: вентиляторы высокого давления, вентиляторы среднего давления и вентиляторы низкого давления.

К вентиляторам с повышенной защитой относятся центробежные вентиляторы, которые состоят из алюминиевых сплавов и укомплектованы взрывозащитными электродвигателями. В таких вентиляторах предусмотрены средства и меры, которые затрудняют появление опасных искр. Данные вентиляторы используются для переноса газопаровоздушных взрывоопасных смесей, температура которых не превышает 80° С, которые не вызывают

ускоренной коррозии проточной части вентиляторов и которые не содержат взрывчатых веществ, взрывоопасной пыли, липких веществ и волокнистых материалов.

1.2.3 Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный)

Такой вентилятор в своей конструкции имеет ротор типа «беличье колесо». Взамен стенок у цилиндра крыльчатка из согнутых вперёд лопастей. Крыльчатка тангенциального вентилятора вмонтирована в корпус в форму трубы, схоже с корпусом центробежного вентилятора. Однако, воздух проникает не с торца вентилятора, а по всей его длине с передней части устройства. Воздух захватывается вращающимися лопатками, а затем получает ускорение в необходимом направлении благодаря диффузору. Вентиляторы данного типа не издадут шума во время работы и вырабатывают равномерный поток воздуха вдоль всей ширины вентилятора.

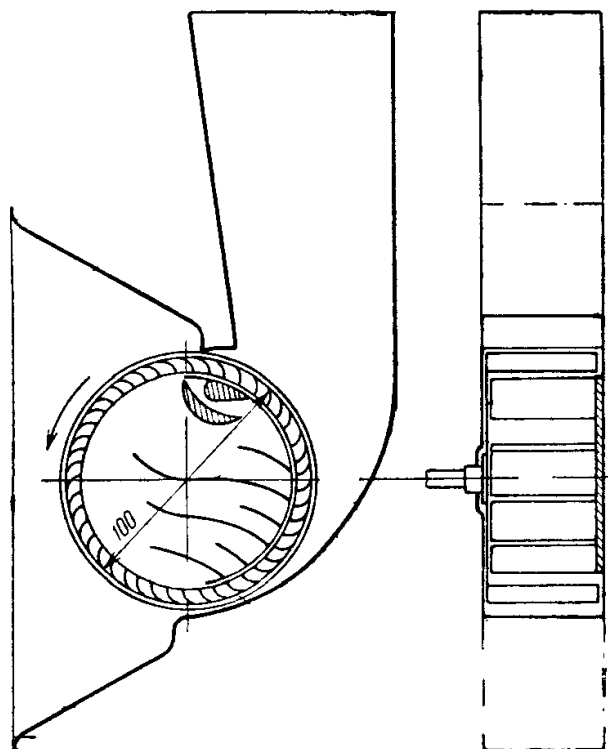


Рис.3. – Вентилятор диаметрального сечения

Тангенциальные вентиляторы нашли свое применение в тех устройствах, где не важен напор воздуха (кондиционеры, воздушные завесы и т.д.). Большой расход воздуха и низкий уровень шума являются отличительными особенностями тангенциальных вентиляторов.

1.2.4 «Безлопастный» вентилятор

Данный тип вентиляторов построен по принципу передачи кинетической энергии от одной среды, которая движется с большей скоростью, к другой. В безлопастном вентиляторе воздушный поток создаёт благодаря обычному вентилятору небольшого размера, который спрятан в основании. Воздух подается с относительно большой скоростью через неширокие щели в большой рамке, сквозь которую проникает основной поток перемещаемого воздуха. За счет аэродинамических эффектов, вытекающий из щелей воздух тянет за собой соседние слои. За счет профиля рамки возникает разрежение, которое засасывает окружающий воздух с тыльной стороны. Таким образом, поток воздуха увеличивается в несколько раз. Направление потока регулируется путем изменения положения рамки. Достоинства данного типа вентиляторов — отсутствие доступных на внешней стороне корпуса подвижных деталей и слоистый выходной поток, а главным недостатком является шумность, которая возникает из-за большого потребного давления нагнетателя и большой скорости вытекания первичного потока.



Рис.4. – Безлопастный вентилятор

1.3 Классификация вентиляторов по исполнению

Также вентиляторы разделяют по способу исполнения на следующие виды:

- многозональные
- центробежные (радиальные)
- канальные
- крышные
- потолочные
- осевые
- оконные

1.3.1 Многозональные вентиляторы

Такие вентиляторы имеют в своей конструкции специальный корпус, который позволяет подсоединить несколько всасывающих воздуховодов, которые вытягивают воздух из разных зон. Зоной может являться отдельный вентиляционный канал, комната или даже часть большого помещения. Многозональные вентиляторы используются на тех объектах, где есть необходимость сделать вытяжку из нескольких мест, а имеется только один канал для выброса воздуха. Благодаря использованию многозональных вытяжных вентиляторов можно оптимизировать сеть воздуховодов и уменьшить количество дорогих фасонных изделий.



Рис.5. – Многозональный вентилятор

1.3.2 Канальные вентиляторы (прямоточные)

Канальные вентиляторы применяются для монтажа в вентиляционный канал круглого или прямоугольного сечения. Вентиляторы данного типа крепятся в едином корпусе и на одном валу с электродвигателем. Для устранения вибраций используют виброизолирующие прокладки.

Такие вентиляторы могут быть осевыми, многолопастными или радиальными, с лопатками загнутыми вперед или назад, одностороннего или двухстороннего всасывания.

Для изготовления корпуса канальных вентиляторов используют специальный пластик, из гальванизированной стали. Благодаря своим небольшим размерам канальные вентиляторы устанавливаются прямо в сети воздуховодов, встраиваются в каналные системы вентиляции и кондиционирования воздуха и скрываются за подшивным потолком или в специальных вертикальных шкафах. Компактность вентилятора при значительных расходах воздуха является основным преимуществом канального вентилятора.



Рис.6. – Канальный вентилятор

1.3.3 Вентиляторы крышные радиальные (ВКР)

Данный тип вентиляторов монтируется прямо на крыше здания, в большинстве случаев имеет специальную раму, которая позволяет обеспечить

долговечность вентилятора и его стойкость к атмосферным воздействиям. Из-за того, что большую часть времени вентиляторы находятся на улице, поэтому к ним предъявляются специальные требования по влагуустойчивости и пылеустойчивости. Для изготовления таких вентиляторов обычно используют высококачественную сталь с эпоксидным коррозиестойким покрытием.

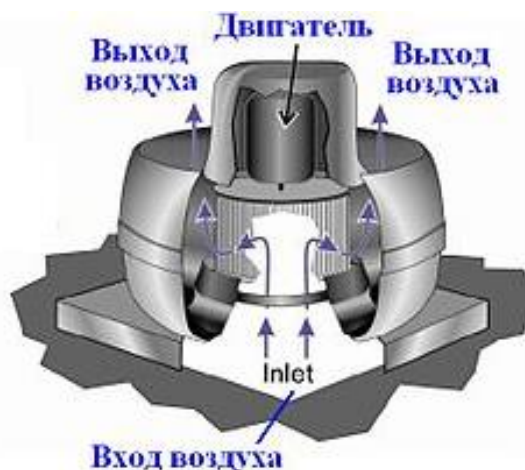


Рис.7. – Вентилятор крышный радиальный

1.4 Конструкция

Вентиляторы обычно имеют электрический привод. Электрические вентиляторы по своей конструкции состоят из вращающихся лопаток, размещенных в защитном корпусе. Лопасти вентилятора приводятся в движение с помощью электродвигателя. Для работы больших промышленных вентиляторов используют трёхфазные асинхронные двигатели. Вентиляторы меньших размеров, обычно, осуществляют свою работу на электродвигателе переменного тока с экранированным полюсом, а также щёточными или бесщёточными двигателями постоянного тока. При использовании вентиляторов с приводом от двигателей переменного тока, напряжение подается из электросети. Вентиляторы с приводом от двигателя постоянного тока используют низкое напряжение. В вентиляторах, которые используются для охлаждения компьютерного оборудования применяются только бесщёточные двигатели постоянного тока. Так как они производят намного меньше электромагнитных помех во время своей работы. Вентилятор в машинах, которые в своей конструкции уже имеют двигатель, обычно соединяется непосредственно с этим двигателем — это можно

наблюдать в вентильных машинах, автомобилях, а также больших системах охлаждения. На валы многих электродвигателей, имеющих мощность 1кВт и более, насажены вентиляторы. Они протягивают охлажденный воздух через обмотки двигателя — это называется самовентиляцией электродвигателя. При изготовлении вентиляторы снабжаются гибкими вставками или тканевыми компенсаторами. Это позволяет предотвратить распространения вибрации по каналу.

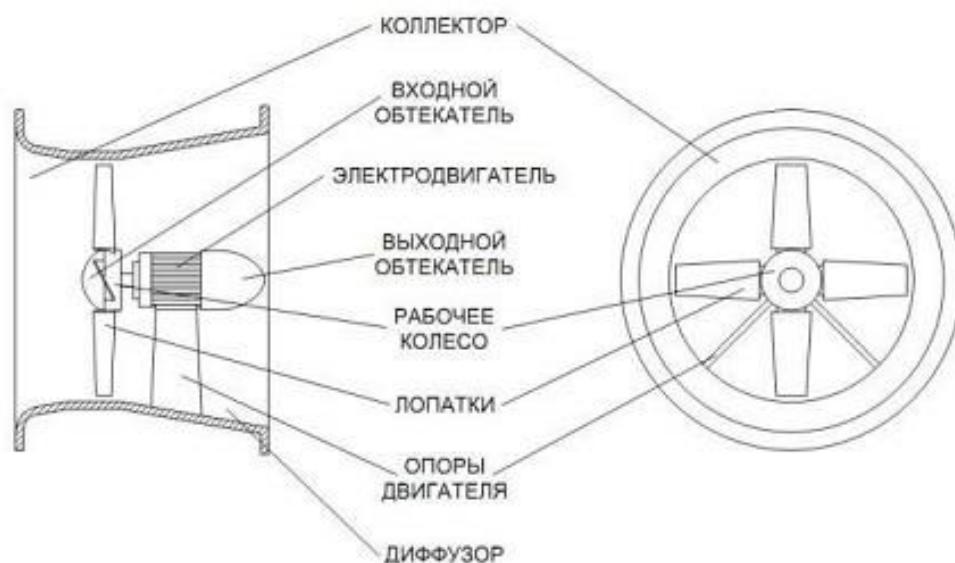


Рис.8. – Конструкция вентилятора

Вентиляция – это процесс, который должен создать благоприятную атмосферу в помещениях. На промышленных предприятиях часто наблюдается содержание различных вредных примесей в воздухе, а они порой не совсем безопасны для здоровья работников. Без качественной циркуляции атмосфера на таком предприятии будет неподходящей для работы.

К классификации этого процесса можно подойти с различных сторон и в зависимости от критерия, виды вентиляции могут быть разные.

По способу организации воздухообмена она бывает:

- естественная,
- принудительная.

1.5 Воздухообмен естественным путем

Для осуществления естественной вентиляции используют разности температур и весов воздуха в производственных помещениях, а также ветровое побуждение. На рисунке 9 представлена схема расположения давления воздуха и разность высот вытяжного и приточного проемов. Для использования естественной вентиляции требуется располагать оборудование перпендикулярно продольным стенам. Это позволит свободно передвигаться воздушным потокам. [2]

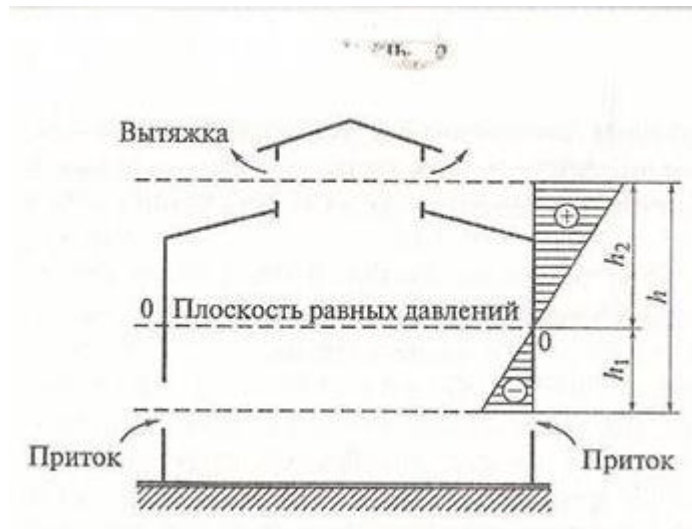


Рис.9. - Распределение давления воздуха в помещении при естественной вентиляции

Расстояние между оборудованием должно составлять не менее 2м. В продольных стенах, против проходов, делают приточные отверстия в виде открывающихся створок. Они обеспечивают беспрепятственное поступление свежего воздуха в глубь помещения. Стоит отметить, что свежий воздух вытесняет находящийся в помещении загрязненный воздух, а не перемешивается с ним.

Для проветривания помещения необходимо открыть форточки и створки в окнах и световых фонарях. В холодные периоды года воздухообмен допускается не более одного раза в час. При этом нужно наблюдать за температурой воздуха в помещении, чтобы она не снижалась ниже требуемой отметки (рис.10).

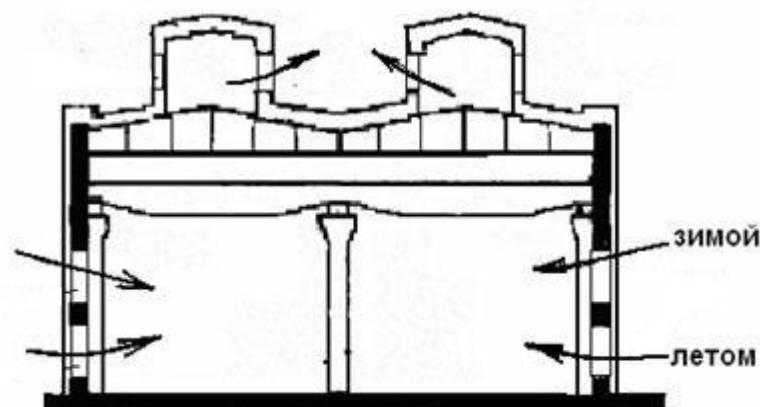


Рис.10. - Схема поступления и удаления воздуха при аэрации в теплый и холодный периоды года

Аэрацией называется организованная естественная вентиляция, которая выполняет роль общеобменной вентиляции производственных помещений в заданных параметрах.

Для того, чтобы достигнуть нормального и эффективного действия аэрации, необходимо располагать здание перпендикулярно направлению господствующих ветров или под углом не менее 45° к ним.

Для открывания с пола створок окон в стенах и фонарях на крышах, их оборудуют специальными механизмами. Таким образом, регулируя открывание створок, можно создавать условия, которые позволят производить обмен воздухом в необходимых объемах (рис.11).

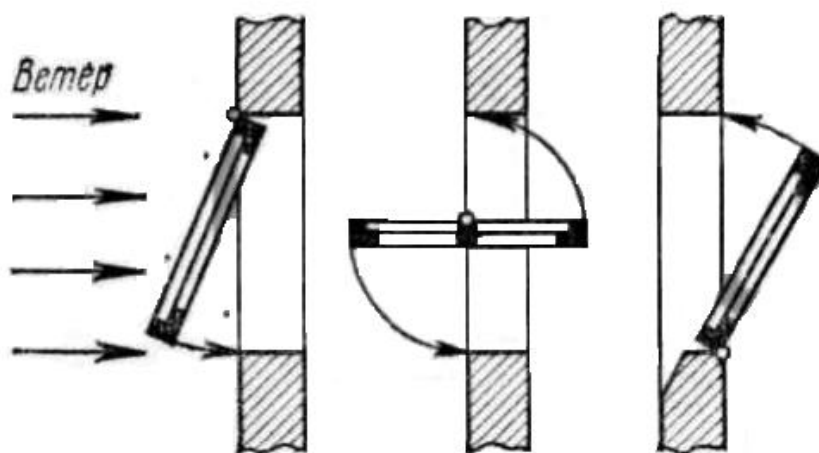


Рис.11. - Типы створных переплетов

Надежное действие аэрации можно обеспечить только при частом открывании и закрывании створок, что возможно только при хорошей конструкции и исправном состоянии механизмов.

При больших количествах и размерах фрамуг используется механический привод, который позволяет производить открытие и закрытие створок.

При аэрации главное значение для воздухообмена составляет соотношение длины и ширины створок, угол их открывания и выбор оси их вращения.

В теплые времена года приток воздуха в помещение предусматривается на высоте не более 1,8 м от пола, а в холодные периоды - не ниже 4 м от пола. Такие условия обеспечивают наилучший воздухообмен, предотвращают воздействие холодного воздуха на рабочий персонал, а также устраняют возможность возникновения простудных заболеваний.

В тех помещениях, где допустима небольшая кратность воздухообмена, устанавливают вытяжные шахты или трубы, наружная часть которых располагается над крышей.

К преимуществам естественной вентиляции относятся низкая стоимость эксплуатации и простота конструкции, возможность хорошего проветривания больших производственных помещений с избыточными тепловыделениями.

К недостаткам естественной вентиляции можно отнести отсутствие возможности увлажнения и подогрева воздуха, его очистку от пыли и подачу к определенным рабочим местам.

В зависимости от того, как организован воздухообмен, системы вентиляции для производственных помещений могут быть разными. Оборудовать механическую вентиляцию можно в виде: [3]

- приточной,
- вытяжной,
- смешанной.

Если оборудована приточная система, то свежий воздух подается внутрь помещения вентилятором, то есть автоматически, регулируя давление и поток. Отработанный воздух выходит самостоятельно через различные отверстия и щели.

В этом варианте имеется возможность регулировать количество поступающего воздуха, используя задвижки, их обычно устанавливают на вентиляционных трубах.

Приточная циркуляция обычно устанавливается в тех зонах производства, куда нежелательно поступление вредных веществ из смежных помещений или зон. Также она помогает не допустить приток остывшего воздуха с улицы, поэтому довольно часто ее можно видеть в помещениях на предприятии, где достаточно тепло.

Вытяжная вентиляция на производстве осуществляется с точность до наоборот. Грязный воздух выводится на улицу через вентиляционные отверстия с помощью вентилятора. Чистый воздух заходит естественным путем через оконные проемы, двери и из соседних помещений.

При совмещенной системе приток и отток воздуха происходит через разные воздухоотводы принудительным путем. При организации такого типа системы должны выполняться определенные требования. Объем выходящего и поступающего воздуха должен быть практически одинаковым.

1.6 Местная вентиляция

Практически на каждом предприятии имеются зоны или цеха, где организовано вредное производство. В целях нераспространения вредных веществ по всей территории предприятия предусмотрен этот вид вентиляции. Она удаляет ядовитые вещества сразу из того места, где они образуются.

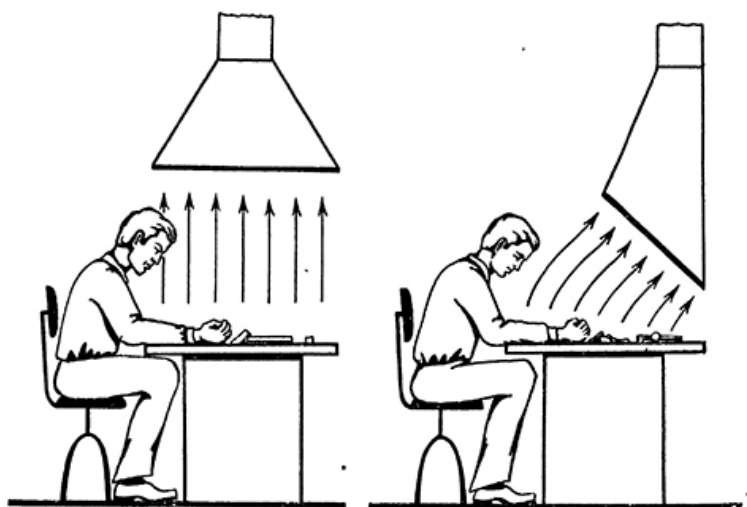


Рис.12. – Местная вентиляция

Местная система может быть нескольких разновидностей:

- воздушный душ,
- завеса,
- вытяжные зонты,
- отсасывающие панели,
- отсосы,
- вытяжные шкафы.

В приточной вентиляции разновидностью воздухообмена являются воздушный душ или оазис. В этих системах воздушный душ поставляет чистый воздух к рабочим местам и при этом происходит снижение температуры в зоне притока. Оазис – это система, подающая охлажденный воздух, разделенная перегородками. Еще разновидностью местной системы циркуляции является воздушная завеса, она способна изменить направление движения воздушных масс. Местная вентиляция не только позволяет эффективно избавить помещение от ядовитых веществ, но и сделать это достаточно экономично.

Общеобменная вентиляция менее эффективна по сравнению с местной, так как она просто меняет воздух во всем помещении одновременно. Происходит так называемое разбавление вредных веществ чистым воздухом. На многих химических предприятиях выделение вредных веществ может сильно варьировать, что делает использование общеобменной вентиляции совсем неэкономным.

Также в сильно больших производственных помещениях и там, где количество работающих людей небольшое, не имеет смысла использовать общеобменную вентиляцию. Достаточно установить местную систему в местах наибольшего скопления работников.

Плюсы механической вентиляции, по сравнению с естественной:

- Не зависит от времени года и погоды за окнами предприятия.
- Можно всегда подогреть воздух, поступающий внутрь.
- Можно очищать поступающий воздух от пыли.
- Прежде, чем выпустить отработанный воздух с вредными и ядовитыми веществами, можно его очистить.

Недостатки:

- Шум во время работы.
- Небольшой объем воздуха, который может пройти через такую вентиляционную систему.
- Приличные материальные затраты.
- Много расходуется электроэнергии.

1.7 Эффективность вентиляции

Независимо от типа вентиляции она, прежде всего, должна быть качественной и эффективной. Для выполнения этих условий необходимо, чтобы еще на этапе ее проектирования были выполнены некоторые рекомендации:

- Объем поступающего воздуха должен соответствовать тому количеству воздуха, который удаляется из помещений. Бывают случаи, когда необходимо сделать эти объемы разными, но все это заранее предусматривается.
- Приточную вентиляционную систему и вытяжную надо располагать правильно. Чистый воздух должен подходить, прежде всего, туда, где отсутствуют вредные выделения, а отток должен быть максимальным в местах образования ядовитых веществ.
- Вентиляционная система не должна влиять существенно на температурный режим производственных помещений.
- Шум, издаваемый вентилирующими устройствами, не должен превышать допустимые нормы.
- Монтаж должен обязательно предусмотреть вопросы противопожарной безопасности.
- Вентиляция должна легко обслуживаться.
- Эффективность работы системы должна быть максимальная.

Если вентиляция производственных помещений на предприятии работает исправно и эффективно, то можно не опасаться за микроклимат в цехах. Необходимо помнить, что производительность работы рабочих напрямую зависит

от атмосферы на предприятии. Забота о здоровье своих подчиненных — прямая обязанность руководителей предприятия.

1.8 Выбор ЭП

Чаще всего на промышленных предприятиях используются центробежные вентиляторы. Такие вентиляторы имеют вентиляторную характеристику. Момент на валу вентилятора изменяется пропорционально квадрату скорости, а производительность вентилятора пропорциональна угловой скорости в первой степени.

Механизмы, которые относятся к данной группе, обладают продолжительным режимом работы, из-за этого их электроприводы, как правило, неререверсивные, с редкими пусками. Компрессоры и вентиляторы обладают небольшими пусковыми статическими моментами, которые составляют до 25% от номинального.

Для изменения производительности вентиляторов, воздуходувок и компрессоров можно пользоваться следующими способами: изменять сопротивление магистрали с помощью задвижки, изменять угловую скорость приводного двигателя, а также пользоваться конструктивным изменением рабочих органов механизма в процессе регулирования.

Для большинства поршневых компрессоров и вентиляционных установок цеховых помещений не требуется регулирования угловой скорости приводных двигателей. Поэтому здесь используют синхронные и асинхронные двигатели с к.з. ротором. Также стоит заметить, что при мощности более 50 – 100 кВт привод с СД оказывается экономически выгоднее, чем привод с АД. Несмотря на то, что синхронные двигатели дороже по цене и сложнее по устройству, чем асинхронные, их применение намного целесообразнее для одновременного улучшения коэффициента мощности предприятия.

Из-за того, что поршневой компрессор в процессе работы образует на валу периодически меняющийся момент сопротивления, это приводит к колебаниям ротора синхронного двигателя. Для того чтобы уменьшить возникающие колебания ротора и устранить возможность выпадения двигателя из синхронизма,

в приводах поршневых компрессоров используют специальные тихоходные синхронные двигатели, которые обладают большой перегрузочной способностью, повышенным моментом инерции ротора и большими значениями входного момента.

Прямой пуск асинхронных и синхронных двигателей производится при достаточной мощности питающей сети. Если сеть не позволяет произвести прямой пуск, используют различные способы ограничения пускового тока, например, пуск двигателя через автотрансформатор или реакторы.

Для того, чтобы осуществить регулирование скорости механизмов с вентиляторным характером нагрузки на валу, используют АД с фазным ротором, а также приводы с АД с к.з. ротором и дросселями в цепи статора или с электромагнитной муфтой скольжения, которая устанавливается между механизмом и двигателем.

Как и для всех механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой, при выборе мощности двигателя вентиляторов требуемую мощность $P_{дв}$ определяют по мощности на валу механизма с учётом потерь в промежуточных механических передачах.

Мощность двигателя вентилятора $P_{дв,в}$, кВт можно вычислить по следующей формуле:

$$P_{дв,в} = k_3 \frac{QH \cdot 10^{-3}}{\eta_B \eta_{II}} \quad (1)$$

где Q – производительность вентилятора, $м^3 / с$;

H – давление газа, Па;

η_B – КПД вентилятора;

η_{II} – КПД механической передачи;

k_3 – коэффициент запаса.

1.9 Автоматизация работы вентиляторных установок

На промышленных предприятиях вентиляторные установки чаще всего применяются для обслуживания определённых технологических процессов,

поэтому производительность установок напрямую зависит от потребления воздуха в процессе работы производственного участка и от изменений таких внешних условий, как температура, влажность воздуха, запыленность.

Вентиляторные установки довольно легко поддаются автоматизации путём использования специальной аппаратуры, которая подаёт сигнал об изменении режима работы и осуществляет необходимо переключение в схеме управления без участия обслуживающего персонала; задача последнего выражается только в периодическом контроле действий аппаратов и их профилактике.

Рассмотрим пример построения схемы управления электроприводом, которая позволяет обеспечивать автоматизацию вентиляторных установок.

Для привода вентиляторов низкого и среднего давления и малой производительности чаще всего используют АД с к.з. ротором. Для вентиляторов большой производительности и высокого давления применяют АД с к.з. ротором высокого напряжения и СД.

На рисунке 13 представлена схема управления вентиляционной установки для проветривания помещений и поддержания при этом заданной температуры окружающей среды. Данная установка состоит из вентиляторов В1-В4 с приводными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором Д1-Д4. Все эти требования выполняются с помощью ступенчатого регулирования угловой скорости двигателей путем изменения напряжения статора с помощью автотрансформатора АТ (рис.13, а), а также с помощью выбора количества используемых в работе вентиляторов. Представленная схема оснащена ручным и автоматическим управлением вентиляторами; для выбора режима работы используются переключатели УП (рис.13, б).

Для применения ручного управления рукоятку УП переводят в положение + 45°, в это же время подготавливаются к включению цепи катушек контакторов КЛ, К1 – К4. Двигатели вентиляторов делятся на две группы: первая группа (Д1 и Д2) подключена к шинам на вторичной стороне АТ постоянно; вторая группа Д3 и Д4 присоединяется к шинам АТ и включается в работу (при ручном управлении) путем

перевода рукоятки переключателя ПК2 в положение 2, при котором срабатывает контактор К4.

Для управления угловой скоростью двигателей вентиляторов используют переключатель ПК1, который имеет четыре положения. В первом положении все двигатели отключены. При переводе рукоятки ПК1 во второе положение включаются контакторы К1 и КЛ, последний своими замыкающими контактами подключается к сети АТ, с нижних отпайек которого через контакты К1 к статорам двигателей подводится пониженное напряжение ($U_1 < U_{ном}$), при этом вентиляторы работают на минимальной скорости (рис.13, в). При переключении рукоятки ПК1 в положение 3 отключается контактор К1, а контактор К2 включается, статоры двигателей подсоединяются на средние отпайки АТ, в этом случае вентиляторы будут работать на средней скорости ω_2 и их производительность увеличится. Переключение рукоятки ПК1 в положение 4 включает контактор К3, двигатели переключаются на полное напряжение сети $U_3 = U_{ном}$, скорость их ω_3 будет номинальной, а производительность вентиляторов достигнет максимума. Последовательно с катушками каждого из контакторов К1-К3 включены два размыкающих вспомогательных контакта других контакторов, что предотвращает к.з. частей обмоток автотрансформатора АТ при переключении контакторов.

Для включения автоматического режима работы рукоятки переключателя УП устанавливают в положение – 45°. Цепи катушек контакторов К1-К5 подсоединяются к источнику питания через контакты реле Р1-Р4, которые являются выходными устройствами регуляторов температуры РТ1 и РТ2. Если температура воздуха в помещении соответствует заданной, то включается контактор К1, а размыкающие контакты Р1 и Р2 замкнуты; включен контактор К2 и вентиляторы работают на средней скорости.

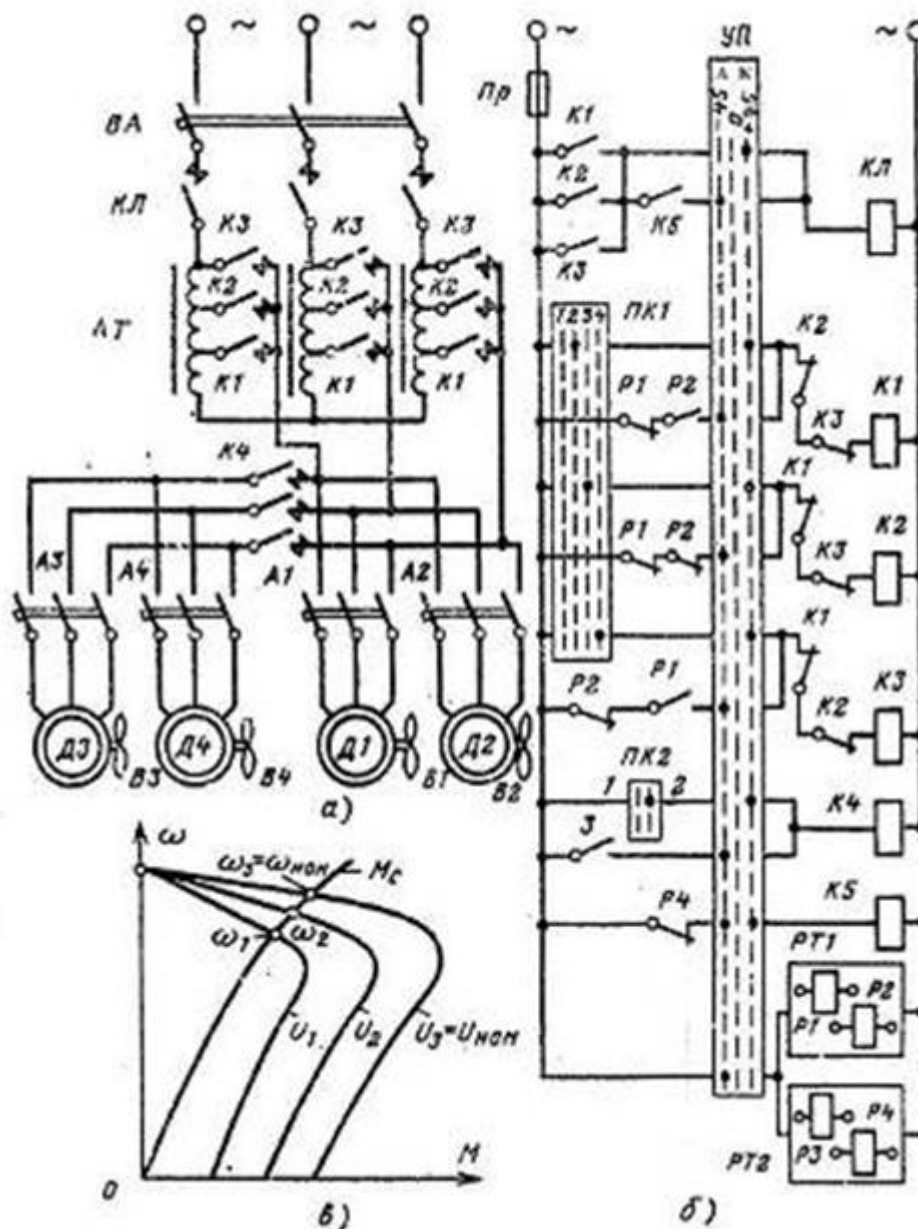


Рис.13. – Электропривод вентиляционной установки: а – схема силовых цепей; б – схема цепей управления; в – механические характеристики двигателей при включении выводов автотрансформатора.

Когда происходит повышение температуры переключаются контакты реле Р1, контактор К2 отключается, а К3 – включается, и вентиляторы начинают работать с номинальной скоростью, это позволяет более интенсивно проветривать помещение. При снижении температуры воздуха ниже заданного значения, переключаются контакты реле Р2, включается контактор К1, что приводит к снижению интенсивности проветривания.

Если температура воздуха продолжает снижаться, то вступает в действие регулятор РТ2. Происходит размыкание контакта его реле Р3, контактор К4 и вторая группа двигателей Д3, Д4 отключаются. Если происходит дальнейшее снижение температуры, то при достижении определенного значения откроется размыкающий контакт реле Р4 и отключится контактор К5, который своим контактом отключает контактор КЛ. Все это приведет к тому, что вентиляторы остановят свою работу, и проветривание помещения прекратится.

2. Разработка функционального электропривода

2.1 Вентиляция стояночного бокса

В качестве производственного помещения выбран стояночный бокс для ремонта и обслуживания спецтехники. Спроектированная вентиляция стояночного бокса является приточно-вытяжной с естественным и механическим побуждением и имеет устройство местных отсосов от выезжающего транспорта.

В проекте используется приточная автоматизированная камера в комплекте с автоматикой и узлом защиты калориферов от замораживания.



Рис.14. – Стояночный бокс для ремонта и обслуживания спецтехники

Общеобменная вентиляция с механическим побуждением рассчитана на ассимиляцию вредных веществ (оксиды углерода и оксиды азота) до нормируемых пределов.

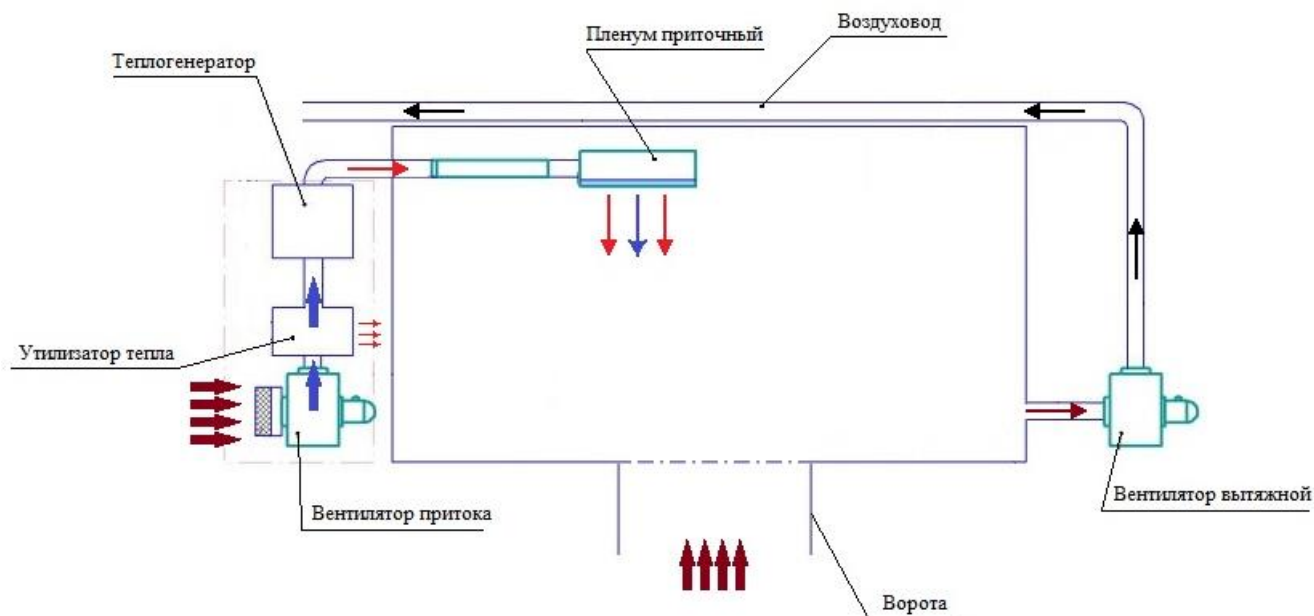


Рис.15. – План-схема вентиляции стояночного бокса

На рисунке 15 приведена план-схема вентиляции стояночного бокса, где стрелками указано направление движения воздуха. Стрелки синего цвета - чистый холодный воздух, красные стрелки - чистый подогретый воздух, коричневые стрелки - загрязнённый воздух, чёрные стрелки - удаляемый воздух.

В стояночном боксе для ремонта и обслуживания спецтехники запроектированы системы удаления выхлопных газов от автотранспорта с помощью вытяжных катушек MER-75-12.5/SP (рис.16), оборудованные электроприводом с пультами и вытяжными шлангами. Вытяжные катушки объединены в системы, оборудованные высокооборотными радиальными вентиляторами FUK, поставляемые фирмой «СовПлим».



Рис.16. – Вытяжные катушки для улавливания выхлопных газов

Основными вредностями в помещении ремонта и обслуживания спецтехники являются окислы углерода и окислы азота при въезде и выезде транспорта, а также различные выделения, возникающие в результате ремонта и обслуживания транспорта.

Для предотвращения поступления холодного воздуха при въезде и выезде автотранспорта ворота в помещении оборудованы автоматическими воздушно-тепловыми завесами в соответствии с требованиями ВСН 01-89 п.4.6.

2.2 Электрооборудование стояночного бокса

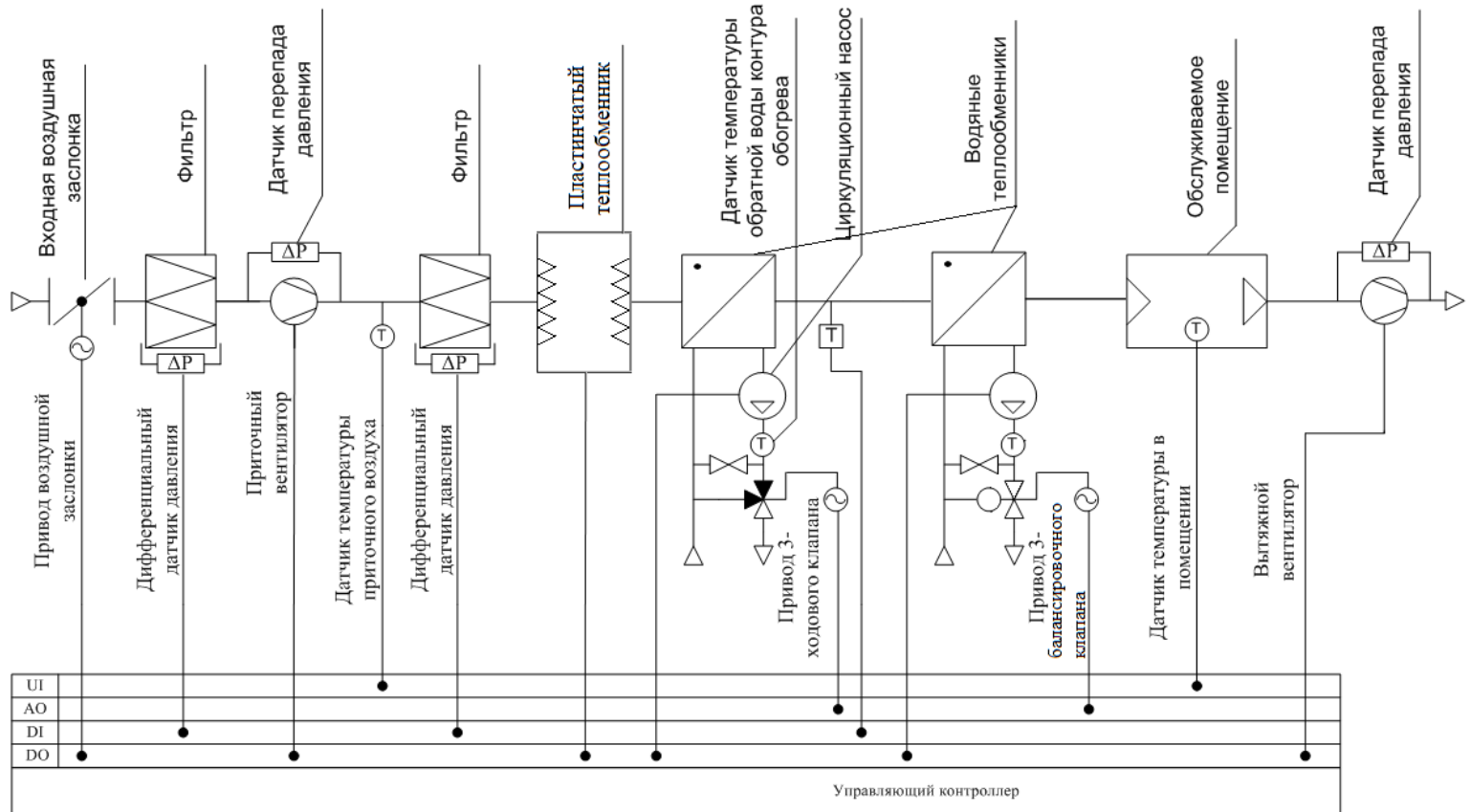


Рис.17. – Функциональная схема технологического процесса

В состав электрооборудования входят следующие основные узлы:

1. Рекуперативный утилизатор теплоты (рис.18). Он состоит из приточного вентилятора, фильтра и пластинчатого теплообменника.



Рис.18. – Утилизатор теплоты

2. Узел управления теплоснабжением. Он состоит из насоса циркуляционного, и клапана ходового с электроприводом (рис.19).



Рис.19. – Клапан регулируемый седельный трехходовой

3. Узел теплоснабжения приточных установок. Этот узел состоит из следующих основных устройств: насос циркуляционный, автоматический комбинированный балансировочный клапан с фланцевым соединением с электроприводом (рис.20).



Рис.20. – Автоматический комбинированный балансировочный клапан

4. Тепловые завесы. Состоят из пульта управления, выключателя концевого, термостатов, электропривода поворотного крана и шкафа распределительного (рис.21).



Рис.21. – Завеса воздушная «Универсал ПРО»

5. Приточные установки, которые включают в себя: щит управления, регулируемый шаровой клапан, вентилятор радиальный (рис.22), капиллярный термостат угрозы замораживания, датчик перепада давления для контроля запыления фильтра, датчик перепада давления для работы вентилятора.



Рис.22. – Вентилятор радиальный

6. Программируемый логический контроллер. Предназначен для систем автоматизации в щитовом исполнении. Основные области применения –

жилищно-коммунальное хозяйство, котельные, вентиляционные установки (рис. 23).



Рис.23. – Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер может отслеживать следующие параметры:

1. Температура притока воздуха,
2. Температура воздуха в помещении,
3. Температура улицы,
4. Температура обратки из калорифера,
5. Состояние жалюзи притока,
6. Состояние жалюзи вытяжки,
7. Состояние жалюзи рециркуляции,
8. Положение клапана отопления,
9. Положения клапана охлаждения,
10. Состояние мотора притока,
11. Состояние мотора вытяжки,
12. Состояние насоса циркуляции.

2.3 Расчет и выбор асинхронного электродвигателя

Исходя из найденных данных в сети Интернет, примерная площадь стояночного бокса для спецтехники равна 1100м^2 , а высота 9м [4]. Таким образом, общий объем помещения равен $V_{\text{помещ}} = 1100 \cdot 9 = 9900\text{м}^3$.

Необходимый объем приточного воздуха равен $9900\text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчетная мощность двигателя с запасом вычисляется по формуле:

$$P = \frac{L \cdot p}{1000 \cdot \eta} \cdot k_z,$$

где L – подача воздуха, $L = 9900\text{ м}^3/\text{ч}$;

p – давление на выходе, $p = 300\text{ Па}$;

P – мощность, кВт;

η - КПД, $\eta = 0,65$;

k_z - коэффициент запаса мощности, учитывающий не выявленные расчетом факторы, $k_z = 1,05 \dots 1,1$ (принимаем $k_z = 1,1$)

$$P = \frac{9900 \cdot 300}{1000 \cdot 0,65} \cdot 1,1 = 5,026\text{ кВт}$$

Асинхронный электродвигатель выбирается по мощности и наиболее подходящим габаритным размерам. Выбираем асинхронную машину серии АИР112М4, параметры которой указаны в таблице 1. [5]

Таблица 1 – Паспортные данные асинхронного двигателя типа АИР112М4

Тип двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м ²	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке				$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$
				s	I, А	η , %	$\cos\varphi$				
АИР112М4	1500	0,0236	5,5	0,017	1,1	85,5	0,86	2,2	2,6	1,6	6

2.4 Выбор вентилятора

По данным выбранного двигателя выбираем радиальный вентилятор ВЦ 14-46-5 (рис.24). [6]



Рис.24. – Внешний вид радиального вентилятора ВЦ 14-46-5

Назначение: обеспечивает перемещение воздушного потока в системах вентиляции зданий. Предназначен для использования в системах вентиляции производственных, общественных и жилых зданий.

Технические характеристики радиального вентилятора ВЦ 14-46-5 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики радиального вентилятора ВЦ 14-46-5

Уровень шума, dB	94,0
Вес, кг	138,0
Обороты вентилятора, об/мин	970
Полное статическое давление, Па	950 - 1120
Мах t окр. воздуха, С°	от -50 до +45
Мах t перемещ. воздуха, С°	80
Производительность, м ³ /ч	11400
Диаметр, мм	530
Мощность, кВт	5,5

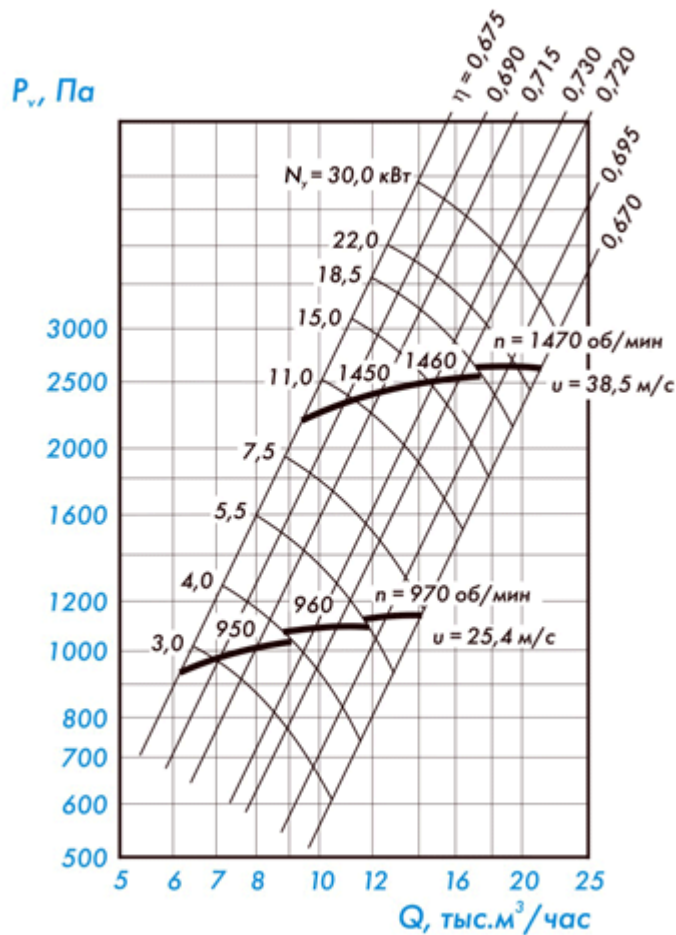


Рис.25. – Напорная характеристика вентилятора ВЦ 14-46-5

Согласно СНиП 2.04.05-91 в производственных помещениях высотой более 6м с выделениями вредных и горючих газов или паров следует удалять загрязненный воздух не менее 6м³ на 1м² помещения. [7]

Высота стояночного бокса составляет 9м, а площадь 1100м². Таким образом, в час должно удаляться не менее 6600м³. Производительность выбранного вентилятора составляет 11400м³/ч, что удовлетворяет СНиП.

2.5 Расчет и выбор преобразователя частоты

ПЧ выберем исходя из таких условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}} ; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}} .$$

Для АД серии АИР112М4 $P_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт}$ и $I_{\text{дв}} = 10,147 \text{ А}$, выбираем ПЧ серии VLT 2855 фирмы Danfoss, характеристики которого представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики ПЧ серии VLT 2855 фирмы Danfoss

$I_{\text{вых}}, \text{А}$	$I_{\text{макс}}, \text{А}$	$S_{\text{вых}}, \text{кВА}$	$P_{\text{вых}}, \text{кВт}$	$f_1, \text{Гц}$	Диапазон регулирования скорости вращения	$S_{\text{пров}}, \text{мм}^2$
12	19,2	8,3	6,9	0,2-132	15:1	4

На рисунке 26 представлено изображение ПЧ серии VLT 2855. [8]



Рис.26. – Внешний вид преобразователя частоты серии VLT 2855

Серия VLT 2800 была разработана для применения электрическими двигателями небольшой мощности. Модельный ряд представлен мощностями от 0,37 до 18,5 кВт. Преобразователи частоты данной серии обладают малыми габаритными размерами и допускают монтаж «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты VLT 2855 PT4 B20 ST RO DB F10 обладает рядом преимуществ:

- Благодаря автоматической адаптации к двигателю, которая дает возможность измерять параметры двигателя для оптимального управления, повышается КПД системы «преобразователь частоты – двигатель».
- Встроенный ПИД-регулятор дает возможность оптимального управления процессом регулирования. Хорошую повторяемость и точность позиционирования обеспечивает точный старт/стоп.
- Серия VLT 2800 спроектирована для стабильной работы в промышленных условиях. RFL-фильтр устраняет высокочастотные помехи в питающей сети и обеспечивает нормальную работу оборудования, которое предъявляет дополнительные требования к электромагнитной совместимости.
- Встроенный фильтр гармоник дает возможность укладываться в нормы стандарта IEC 61000-3-2.
- Все преобразователи частоты серии VLT 2800 просты в использовании благодаря такой функции, как «Быстрое меню». Данная функция включает в себя все необходимые параметры для пуска и нормальной работы. Управление и программирование привода также может осуществляться с внешней панели управления, которая снабжена графическим дисплеем.
- Протоколы связи Profibus и DeviceNet обеспечивают полный контроль и управление приводом с ПК или контроллера.

На рисунке 27 представлена схема подключения ПЧ.

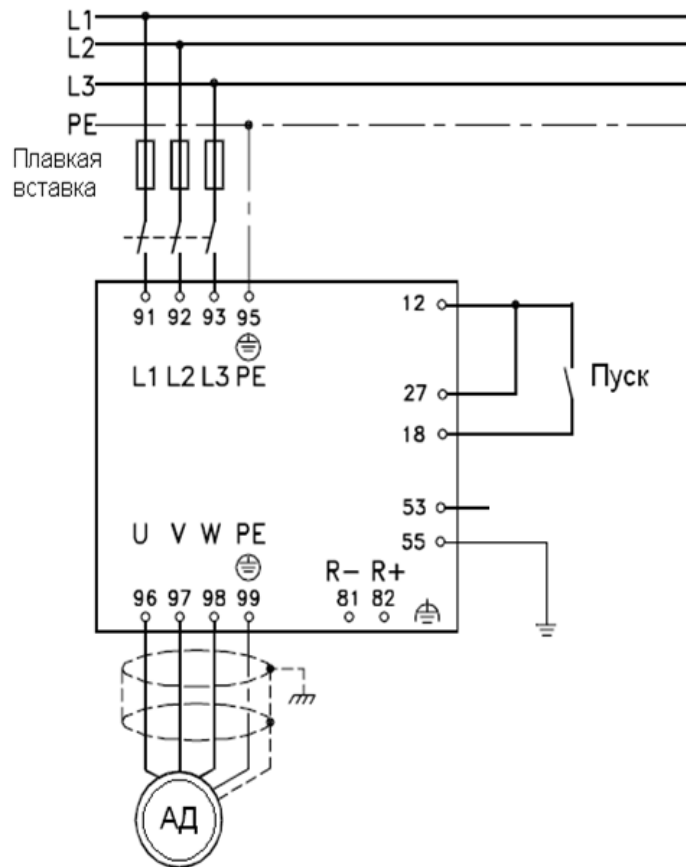


Рис.27. – Схема подключения преобразователя частоты

ПЧ запитывается от трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В, фазы которой подключены к клеммам L1, L2, L3, клемма PE заземляется.

АД подключается к клеммам U, V, W, а клемма PE заземляется.

Управление скоростью вращения и воздушным потоком производится за счет изменения частоты, величины управляющего напряжения или за счет управления сдвигом фаз.

2.6 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

2.6.1 Расчет инвертора

Способ расчета представлен для преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения, выполненного с использованием гибридных модулей.

Максимальный ток через ключи инвертора определяется следующим выражением:

$$I_{c \max} = \frac{P_{\text{ном.}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{ном.}} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{5500 \cdot 1,2 \cdot 1,41 \cdot 1,1}{0,855 \cdot 0,86 \cdot 1,73 \cdot 380} = 21,177 \text{ А}$$

где $P_{\text{ном.}}$ - номинальная мощность двигателя, Вт;

k_1 - коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току [1,2 ÷ 1,5];

k_2 - коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока [1,1 ÷ 1,2];

$\eta_{\text{ном.}}$ - номинальный КПД двигателя;

$U_{\text{л}}$ - линейное напряжение двигателя.

Питающее напряжение инвертора от выпрямителя:

$$U_d = k_{\text{с.н.}} \cdot U_{\text{л}} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В}$$

где $k_{\text{с.н.}}$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки

Обратное напряжение IGBT модуля:

Обратное напряжение IGBT модуля необходимо делать с запасом и с учетом максимального отклонения напряжения в 15% от питающего напряжения инвертора, поэтому:

$$U_{\text{обр.}} = k_z \cdot k_{\text{откл.}} \cdot U_d = 2 \cdot 1,15 \cdot 513 = 1180 \text{ В}$$

Выбор модуля:

Выбор IGBT производится в соответствии с условием

$$I_c \geq I_{\text{с max}};$$

$$U_{\text{кэ}} \geq U_{\text{обр.}}$$

Выбирается модуль CM30TF-24H производителя Mitsubishi. [9]

Характеристики модуля:

$U_{\text{кэ.}} = 1200 \text{ В}$ - напряжение коллектор-эмиттер

$I_c = 30 \text{ А}$ - ток коллектора

$U_{\text{се.sat}} = 2,5 \text{ В}$ - прямое падение IGBT в проводящем состоянии

$t_{\text{dOn}} = 100 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - время открывания транзистора

$t_{\text{dOff}} = 150 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - время закрывания транзистора

$U_{cc} = 600 \text{ В}$ - коммутируемое напряжение равное напряжению звена

постоянного тока системы АИН-ШИМ

$f_{sw} = 2500 \text{ Гц}$ - частота коммутации ключей

$I_{rr} = 7,2 \text{ А}$ - амплитуда обратного тока через диод

$t_{rr} = 250 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - продолжительность импульса обратного тока

$U_e = 4,8 \text{ В}$ - прямое падение напряжения на диоде

$R_{th(j-c)q} = 0,50 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус

для IGBT

$R_{th(j-c)d} = 1,40 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус

для диода

$R_{th(c-f)} = 0,042 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термическое сопротивление корпус-поверхность

теплопроводящей пластины модуля в расчете на одну пару диод/транзистор

Максимальная амплитуда тока на входе инвертора находится по формуле:

$$I_{cp.} = \frac{I_{c \max}}{k_1} = \frac{21,18}{1,2} = 17,65 \text{ А}$$

Потери IGBT в проводящем состоянии определяются из выражения:

$$P_{ss} = I_{cp.} \cdot U_{ce, sat} \left(\frac{1}{8} + \frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} \right) = 17,65 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95 \cdot 0,86}{3 \cdot 3,14} \right) = 9,34 \text{ Вт}$$

где D – скважность,

$\cos \theta \approx \cos \varphi$ - коэффициент мощности

Потери IGBT при коммутации определяются из выражения:

$$\begin{aligned} P_{sw} &= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(I_{cp.} \cdot U_{cc}) \cdot (t_{dOn} + t_{dOff}) \cdot f_{sw}}{2} = \\ &= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(17,65 \cdot 600) \cdot (100 + 150) \cdot 10^{-9} \cdot 2500}{2} = 0,75 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Суммарные потери находятся по формуле:

$$P_Q = P_{sw} + P_{ss} = 0,75 + 9,34 = 10,09 \text{ Вт}$$

Потери диода в проводящем состоянии определяются из выражения:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_e \cdot \left(\frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} + \frac{1}{8} \right) = 17,65 \cdot 4,8 \cdot \left(\frac{0,95 \cdot 0,86}{3 \cdot 3,14} + \frac{1}{8} \right) = 17,94 \text{ Вт}$$

где $I_{ep} \approx I_{cp}$ - максимальная амплитуда тока через диод

Потери при восстановлении запирающих свойств определяются из выражения:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} (I_{rr} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} (7,2 + 600 + 250 \cdot 10^{-9} \cdot 2500) = 75,9 \text{ Вт}$$

Суммарные потери диода находятся по формулам:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 75,9 + 17,94 = 93,84 \text{ Вт}$$

$$P_T = P_D + P_Q = 93,84 + 10,09 = 103,93 \text{ Вт}$$

Тепловой расчет. Температура кристалла IGBT:

$$T_{ja} = T_c + P_Q \cdot R_{th(j-c)q} = 100 + 10,09 \cdot 0,50 = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $T_c = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$ - температура теплопроводящей пластины [90 ÷ 110]

Температура кристалла обратного диода определяется из формулы:

$$T_{jd} = T_c + P_D \cdot R_{th(j-c)q} = 100 + 93,84 \cdot 0,50 = 146,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Условия проверки теплового режима работы кристаллов:

$$T_{ja} < 175^\circ\text{C}$$

$$T_{jd} < 175^\circ\text{C}$$

Исходя из условий и рассчитанных значений, можно сделать вывод, что тепловой режим работы соблюдается.

Максимальное допустимое переходное сопротивление охладитель-окружающая среда в расчете на инвертор:

$$R_{thFAi} = \frac{T_c - T_a}{P_T} - R_{thCF} = \frac{110 - 25}{103,93} - 0,042 = 0,776 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

2.6.2 Расчет выпрямителя

Максимальное значение среднего выпрямленного тока находится по формуле:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{c\max}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi + n \cdot P_T}{U_d} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{21,18}{\sqrt{2}} \cdot 380 \cdot 0,86 + 6 \cdot 103,93}{513} = 17,74 A$$

где n – количество пар транзистор/диод в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 17,74 = 18,54 A$$

где k_{cc} – коэффициент для мостовой трехфазной схемы при оптимальных параметрах Г-образного LC фильтра.

Максимальное обратное напряжение диода находится из выражения:

$$U_{vm} = k_{з.н.} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{л}} \cdot k_{с.н.} \cdot k_c + \Delta U_n = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 125 = 1043 B$$

где $k_{з.н.}$ – коэффициент запаса по напряжению [$\geq 1,15$]

k_c – коэффициент допустимого повышения напряжения [$\geq 1,1$]

ΔU_n – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока [100 ÷ 150 В]

Выбор модуля:

Выбор выпрямителя производится в соответствии с условием:

$$U_j > \frac{U_{vm.}}{1000}$$

$$I_{np.} > I_{vm}$$

Выбираем трехфазный мостовой выпрямитель 26MT120PBF производителя Vishay Intertechnology [10]

Характеристики:

$I_{np.} = 25 A$ – максимальный рабочий ток диода.

$U_j = 1,26 B$ – прямое падение напряжения.

$R_{on} = 7,9 \cdot 10^{-3} Ом$ – динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии.

$R_{th(CS)} = 0,2 \frac{^{\circ}C}{Bm}$ – термическое сопротивление корпус-поверхность

теплопроводящей пластины.

$R_{th(JC)} = 1,42 \frac{^{\circ}C}{Bm}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус.

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot \left(1,26 + 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{17,74}{1,2} \right) \cdot \frac{17,74}{1,2} = 70,46 Bm$$

где m_v - число полупроводниковых приборов в схеме

k_{cs} - коэффициент для трехфазной мостовой схемы

Температура кристалла находится по формуле:

$$T_{jDV} = T_c + \frac{P_{DV}}{n_D} \cdot R_{th(JC)} = 110 + \frac{70,46}{6} \cdot 1,42 = 126,68 ^{\circ}C$$

Проверка теплового режима работы кристалла:

$$T_{jDV} < 175 ^{\circ}C$$

Исходя из условий и рассчитанных значений, можно сделать вывод, что тепловой режим работы соблюдается.

Максимально допустимое переходное сопротивление охладитель-окружающая среда в расчете на выпрямитель:

$$R_{th(FA)v} = \frac{T_c - T_a}{P_{DV}} - R_{th(CS)v} = \frac{110 - 25}{70,46} - 0,2 = 1 \frac{^{\circ}C}{Bm}$$

2.6.3 Расчет параметров охладителя

Предварительно определяется суммарное переходное тепловое сопротивление охладитель-окружающая среда в расчете на суммарную мощность:

$$R_{th(FA)p} = \frac{R_{th(FA)i} \cdot R_{th(FA)v}}{R_{th(FA)i} + R_{th(FA)v}} = \frac{0,776 \cdot 1}{0,776 + 1} = 0,437 \frac{^{\circ}C}{Bm}$$

Площадь охладителя, участвующая в конвекции (рис.28)

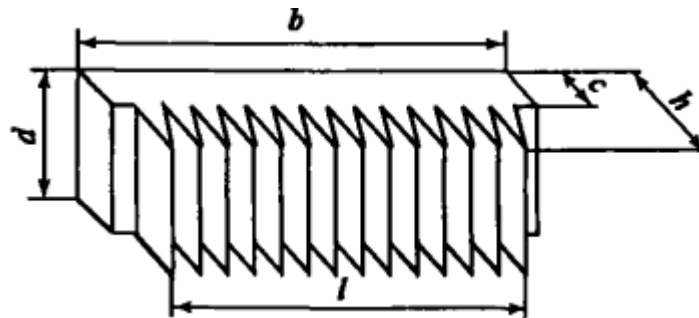


Рис.28. – Охладитель

Предварительно принимаем следующие значения:

$m = 400$ - число ребер охладителя

$d = 0,15 \text{ м}$ - длина

$b = 0,1 \text{ м}$ - ширина

$h = 0,1 \text{ м}$ - высота

$c = 0,0001 \text{ м}$ - высота, не участвующая в конвекции

$$A_{conv.} = 2 \cdot d \cdot (b + m \cdot (h - c)) = 2 \cdot 0,15 \cdot (0,1 + 400 \cdot (0,1 - 0,0001)) = 12,018 \text{ м}^2$$

Площадь охладителя, участвующая в излучении тепла:

$$A_{rad.} = 2 \cdot d \cdot (b + h) = 2 \cdot 0,15 \cdot (0,1 + 0,1) = 0,06 \text{ м}^2$$

Переходное сопротивление излучения тепла определяется выражением:

$$R_{Qrad} = \frac{T_{cK} - T_{aK}}{5,1 \cdot E \cdot A_{rad.} \cdot \left[\left(\frac{T_{cK}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{aK}}{100} \right)^4 \right]} = \frac{383,15 - 298,15}{5,1 \cdot 0,8 \cdot 0,06 \cdot \left[\left(\frac{383,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{298,15}{100} \right)^4 \right]} =$$

$$= 2,544 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$$

где $T_{cK} = T_c + 273,15$ - температура теплопроводящей пластины в Кельвинах

$T_{aK} = T_a + 273,15$ - температура охлаждающей пластины в Кельвинах

E - коэффициент излучения с поверхности тепла для алюминия

Переходное температурное сопротивление теплопередачи конвекцией:

$$R_{Qconv} = \frac{1}{1,34 \cdot A_{conv.} \cdot F_{red.}} \cdot \left(\frac{d}{T_{cK} - T_{aK}} \right)^{0,25} =$$

$$= \frac{1}{1,34 \cdot 12,018 \cdot 0,9} \cdot \left(\frac{0,1}{383,15 - 298,15} \right)^{0,25} = 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$$

где $F_{red.}$ - коэффициент ухудшения теплоотдачи (для расстояния между рёбрами $< 5\text{мм}$)

Переходное температурное сопротивление охладитель-окружающая среда при естественном охлаждении:

$$R_{th(FA)} = \frac{R_{Qrad} \cdot R_{Qconv}}{R_{Qrad} + R_{Qconv}} = \frac{2,544 \cdot 0,014}{2,544 + 0,014} = 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$$

Проверка параметров охладителя:

$$R_{th(FA)p} > R_{th(FA)}$$

$$0,437 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} > 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$$

Температурное сопротивление охладителя меньше расчетного значения, следовательно, габаритные размеры охладителя подобраны верно.

2.6.4 Расчет фильтра

Определяем активную мощность, потребляемую нагрузкой:

$$P = I_{dm} \cdot U_d = 17,74 \cdot 513 = 9,100 \text{ кВт}$$

Колебания напряжения на выходе трехфазного выпрямителя с С-фильтром определяются по выражению:

$$\Delta U = \frac{0,17 \cdot P}{f_{sw} \cdot W_c}$$

где $f_{sw} = 2500 \text{ Гц}$ – частота коммутации ключей.;

W_c – энергия, запасенная в конденсаторе, Дж.

Выразим энергию, запасенную в конденсаторе и найдем ее значение:

$$W_c = \frac{0,17 \cdot P}{f_{sw} \cdot \Delta U} = \frac{0,17 \cdot 9,100 \cdot 10^3}{2500 \cdot 1,4} = 0,442 \text{ Дж}$$

Требуемая емкость конденсатора находится по формуле:

$$C = \frac{2 \cdot W_c}{U_d^2} = \frac{2 \cdot 0,442}{513^2} = 3,359 \text{ мкФ}$$

Согласно полученному значению выбираются следующие конденсаторы: CC0805KKX7R6BB475 (YAG) – 4,7 мкФ.

2.7 Расчет схемы замещения двигателя

Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для того, чтобы провести расчеты электромеханических и механических характеристик АД, воспользуемся Т-образной схемой замещения, представленной на рисунке 29.

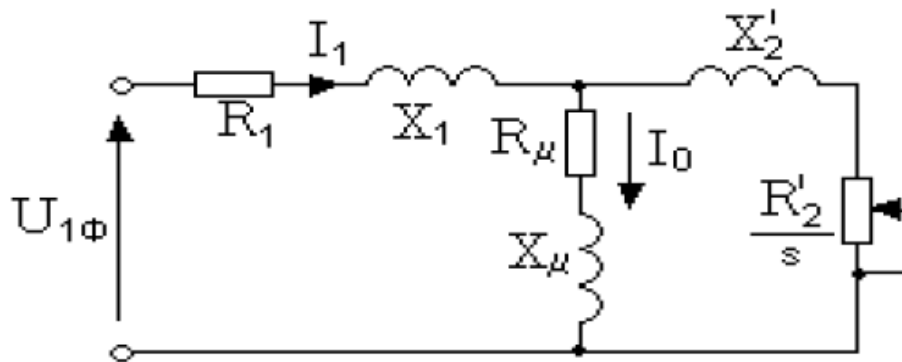


Рис.29. – Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\overline{U}_{1\phi} - \overline{E}_1 - j \cdot X_1 \cdot \overline{I}_1 = 0;$$

$$\overline{E}_1 + j \cdot X_2' \cdot \overline{I}_2 + R_2' \cdot \overline{I}_2 / s = 0;$$

$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2 - \overline{I}_0 = 0.$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, представлена на рисунке 30.

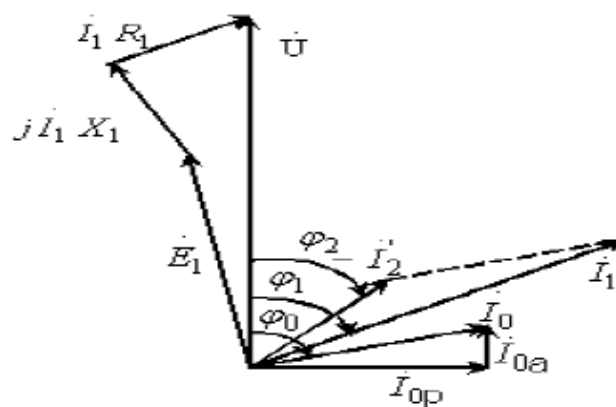


Рис.30. – Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя АИР112М4 по его каталожным данным.

Номинальная частота вращения находится из формулы:

$$n_n = n_0 \cdot (1 - S_n) = 1500 \cdot (1 - 0,017) = 1474,5 \text{ об / мин}$$

Угловая синхронная скорость вращения определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад / с}$$

Номинальная угловая скорость вращения:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1474,5}{60} = 154,3 \text{ рад / с}$$

Номинальный ток цепи обмотки статора:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,855} = 11,333 \text{ А}$$

Ток статора при частичной нагрузке находится по формуле:

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \varphi_* \cdot \eta_*} = \frac{0,75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,855} = 8,807 \text{ А}$$

Сведений о коэффициенте мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе нет. Найдем эти параметры, руководствуясь следующими соображениями:

- современные АД проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньше номинальной, т.к. большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $P_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е. $\eta_n \approx \eta_* = 0,855$
- коэффициент мощности при нагрузке $P_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие значительно зависит от мощности двигателя. Согласно зависимости, приведенной на рисунке 31, $\cos \varphi_* / \cos \varphi_n = 0,96$, тогда $\cos \varphi_* = 0,96 \cdot \cos \varphi_n = 0,96 \cdot 0,86 = 0,83$

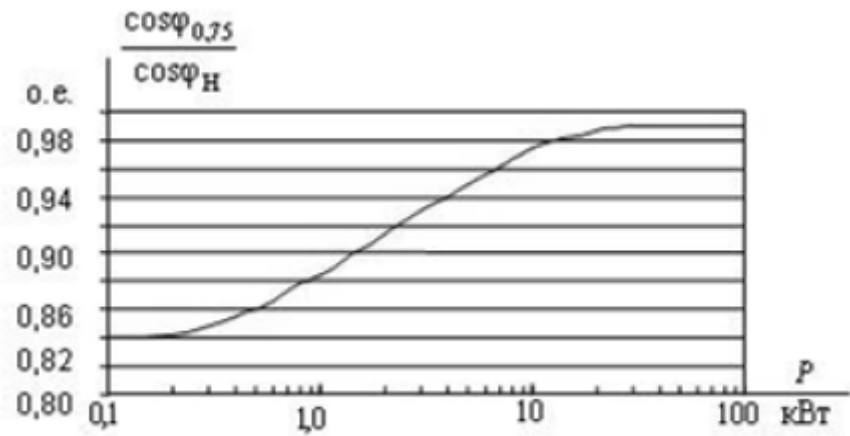


Рис.31. – Зависимость $\cos \varphi_* / \cos \varphi_n$ от P_n двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{P_* \cdot I_{1n} \cdot 1 - S_n}{1 - P_* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{P_* \cdot 1 - S_n}{1 - S_n \cdot P_*} \right)^2}} = \sqrt{\frac{8,807^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 11,333 \cdot 1 - 0,017}{1 - 0,75 \cdot 0,017} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot 1 - 0,017}{1 - 0,017 \cdot 0,75} \right)^2}} = 3,8 A$$

Определим критическое скольжение, где $\beta = (0,6 - 2,5)$, в первом приближении принимаем значение коэффициента $\beta = 1$

$$S_k = S_n \cdot \frac{K_{\max} + \sqrt{K_{\max}^2 - 1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot K_{\max} - 1}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot K_{\max} - 1} = 0,107 o.e.$$

Определим коэффициенты по формулам:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_i \cdot I_n} = 1,032 o.e.$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot K_{\max} \cdot P_n} = 4,822$$

Значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмотке статора определим из выражения:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k} \right) \cdot C_1} = 0,452 \text{ Ом}$$

Для нахождения значения активного сопротивление цепи статора воспользуемся формулой:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,467 \text{ Ом}$$

Значение индуктивного сопротивления короткого замыкания найдем по формуле:

$$X_K = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 4,33 \text{ Ом}$$

где $\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_{\kappa}}\right)^2 - \beta^2} = 9,281 \text{ o.e.}$

Если значение γ отрицательно, то необходимо изменить первоначально принятое значение β .

Индуктивное сопротивление ротора, приведенное к обмотке ротора:

$$X_2' = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa}}{C_1} = 2,434 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 1,819 \text{ Ом}$$

Значение критического скольжения определяется по формуле:

$$S_{\kappa} = C_1 \cdot \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2}} = 0,107 \text{ o.e.}$$

Полученное значение критического скольжения совпадает с ранее рассчитанными значениями.

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_{1н} - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin \varphi_{1н} - X_1 \cdot I_{1н})^2} = 206,949 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определяется по формуле:

$$X_{m.н} = \frac{E_1}{I_0} = 53,459 \text{ Ом}$$

Все расчеты параметры схемы замещения приведены в таблице 4. Используя эти параметры, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

Таблица 4 – Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{\kappa}, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$X_2', \text{Ом}$	$X_{m.н}, \text{Ом}$
0,467	0,452	4,33	1,819	2,434	53,459

2.8 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Естественную механическую характеристику двигателя рассчитаем с помощью выражения:

$$M_s = \frac{3 \cdot U_{\text{лн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{лн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{лн}}} \right)^2 \right]}$$

Естественная механическая характеристика представлена на рисунке 32.

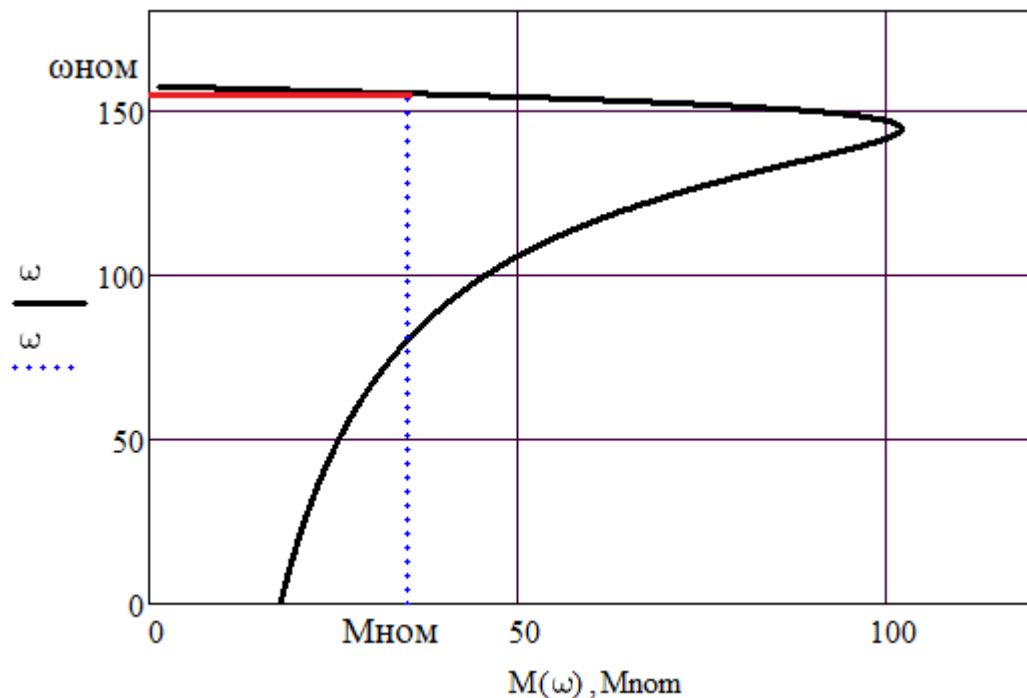


Рис.32. – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

$$M = f(\omega)$$

Номинальный момент определяется по формуле:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \cdot \frac{5500}{1500} = 35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальная угловая скорость вращения:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}$$

Естественная электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения, определяется выражением:

$$I_2' s = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

Ток статора \bar{I}_1 определяется путем сложения вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}_2' согласно векторной диаграмме. Полагаем ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$).

Ток статора определяется по формуле:

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = 100,602$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\mu\text{н}}^2}}$$

Естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$ приведена на рисунке 33.

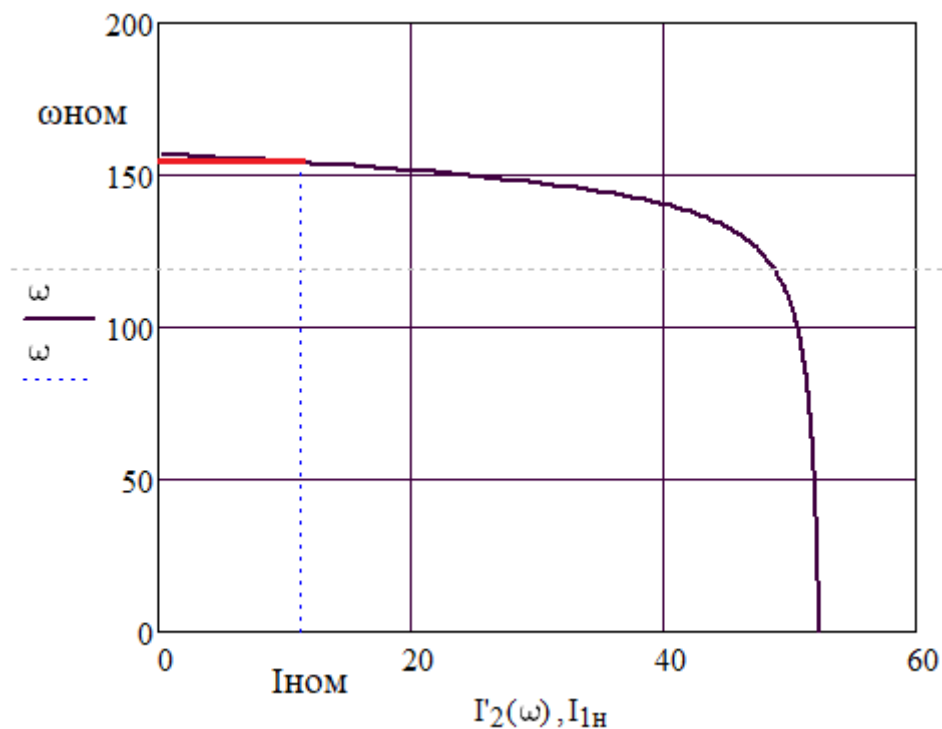


Рис.33. – Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя
Номинальный ток:

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,855 \cdot 0,86} = 11,365 A$$

2.9 Имитационная модель АД, выполненная в неподвижной системе координат

Проверка адекватности расчета:

$$M_{эмн1} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 37,59 H \cdot м;$$

$$M_{эмн2} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L'_{2\sigma}} \cdot \psi_{2нз} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\phi n}^2 - I_{0z}^2} = 37,4921 H \cdot м;$$

где

$$\psi_{2нз} = \sqrt{2} \cdot I_{0z} \cdot L_{\mu} = 0,8974;$$

Проверяемые условия:

$$M_{двн} \leq M_{эмн1} \leq 1,1 \cdot M_{двн}$$

$$35,6196 \leq 37,59 \leq 39,1816$$

$$\Delta_M = (M_{эмн1} - M_{эмн2}) = 0,0979;$$

Момент от силы трения находится из выражения:

$$\Delta_{MC} = (M_{эмн1} - M_{двн}) = 1,97;$$

По дифференциальным уравнениям, приведенным ниже, составим структурную схему в MATLAB Simulink, представленную на рисунке 34.

Двухфазная модель в неподвижной системе координат представлена уравнениями:

$$\frac{di_{sc\alpha}}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot (U_{sc\alpha} - R_e \cdot i_{sc\alpha} + K_r \cdot z_p \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\beta} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}),$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{L_e} \cdot (U_{s\beta} - R_e \cdot i_{s\beta} - K_r \cdot z_p \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}),$$

$$\frac{d\psi_{\text{rot}}}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{\text{sol}} - A_r \cdot \psi_{\text{rot}} - Z_p \cdot \omega_r \cdot \psi_{\text{r}\beta}$$

$$\frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta} - A_r \cdot \psi_{r\beta} + Z_p \cdot \omega_r \cdot \psi_{ra},$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J_e} \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot K_r \cdot (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) - M_C(t) \right],$$

$$\text{где } K_r = \frac{L_m}{L_r}, \quad R_e = R_s + R_r \cdot K_r^2, \quad L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}, \quad A_r = \frac{R_r}{L_r}.$$

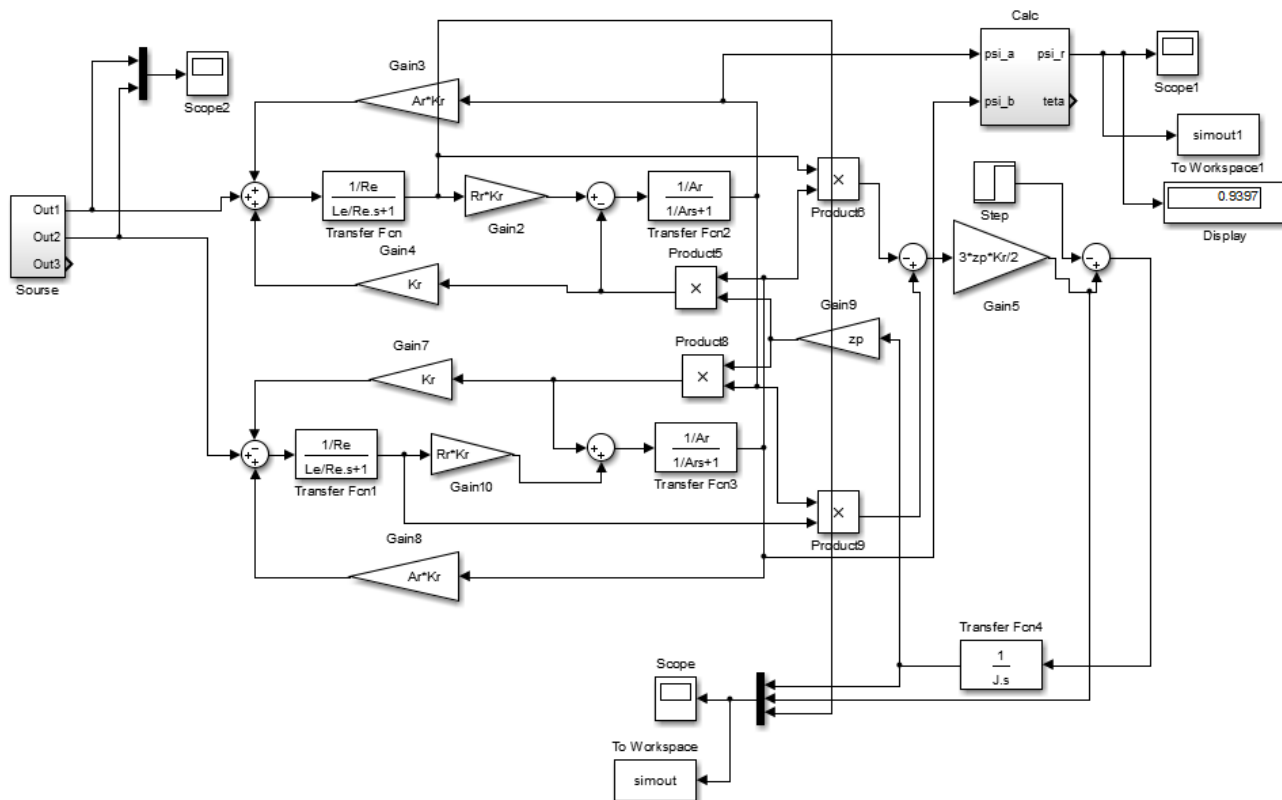


Рис.34. – Структурная схема в Matlab Simulink

В результате получаем осциллограмму токов и угловой скорости вращения двигателя, представленную на рисунке 35.

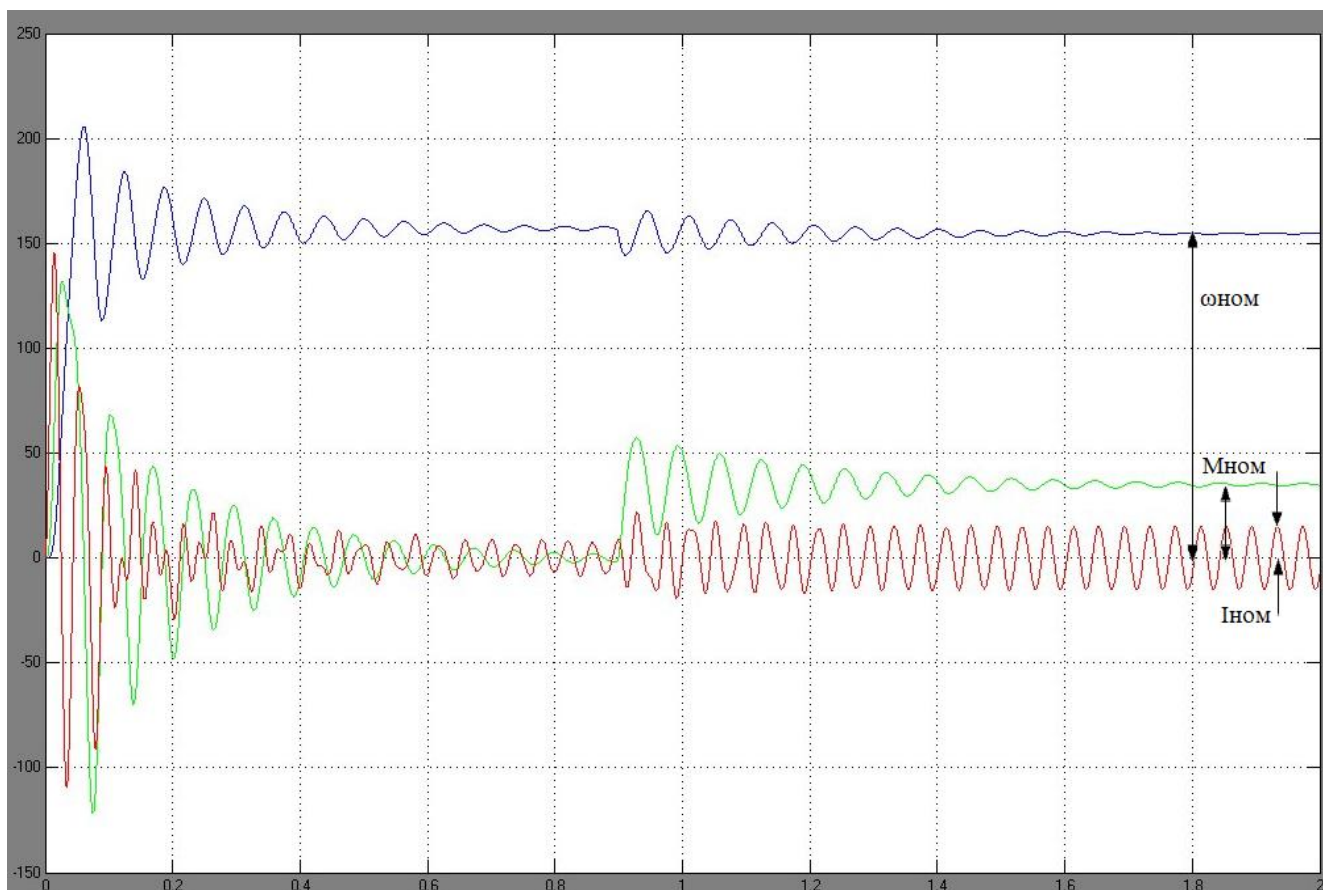


Рис.35. – Осциллограмма токов и угловой скорости

Далее, для удобства, представим отдельно зависимости и проанализируем их.

Из зависимости угловой скорости вращения двигателя от времени, представленной на рисунке 36, видно, что скорости: холостого хода и номинальная, полученные в Matlab соответствуют рассчитанным значениям.

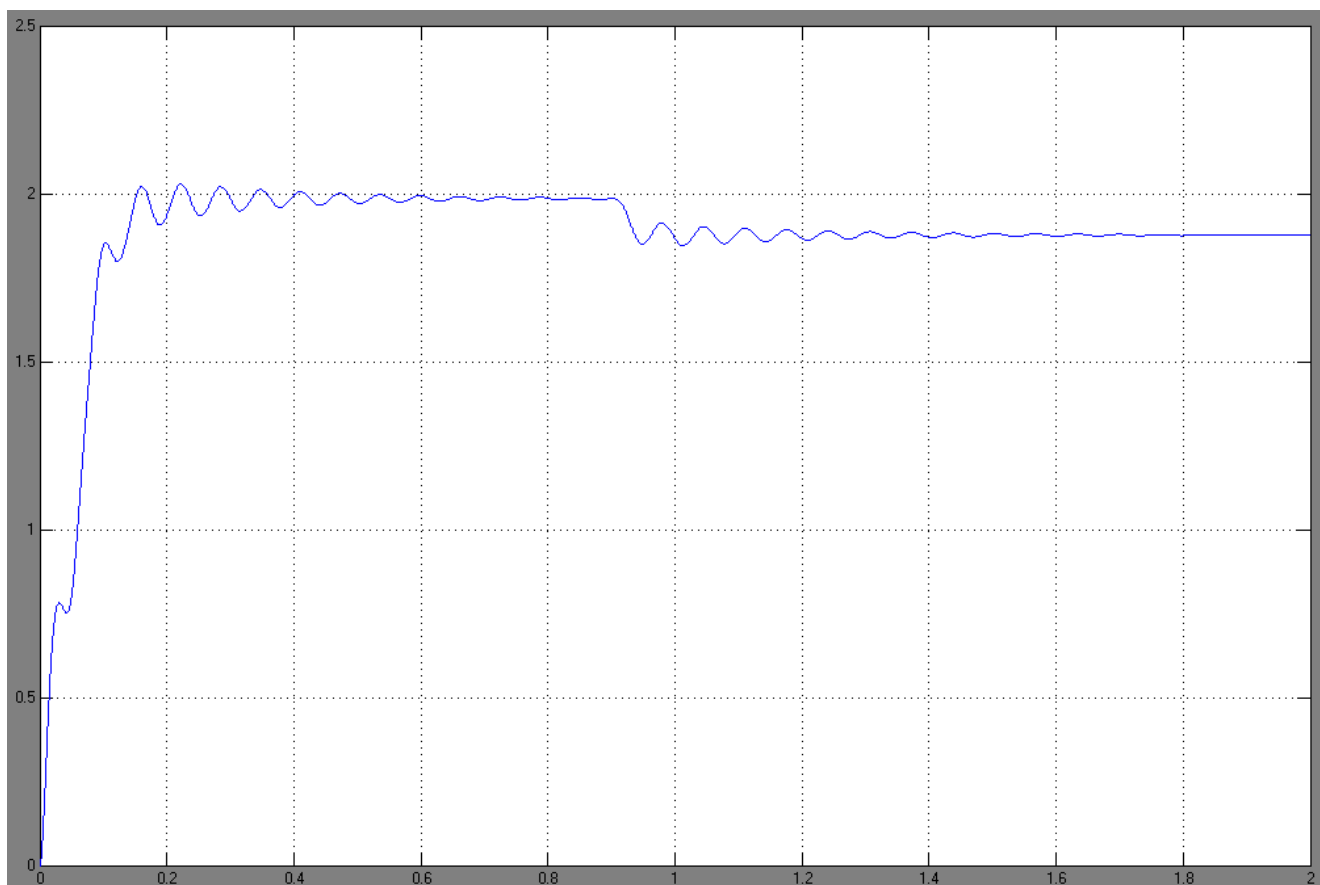


Рис.36. – Зависимость угловой скорости от времени

Рассмотрим теперь график тока, представленный на рисунке 37. Из рисунка 38 следует, что ток полученный в среде Matlab соответствует рассчитанному номинальному току.

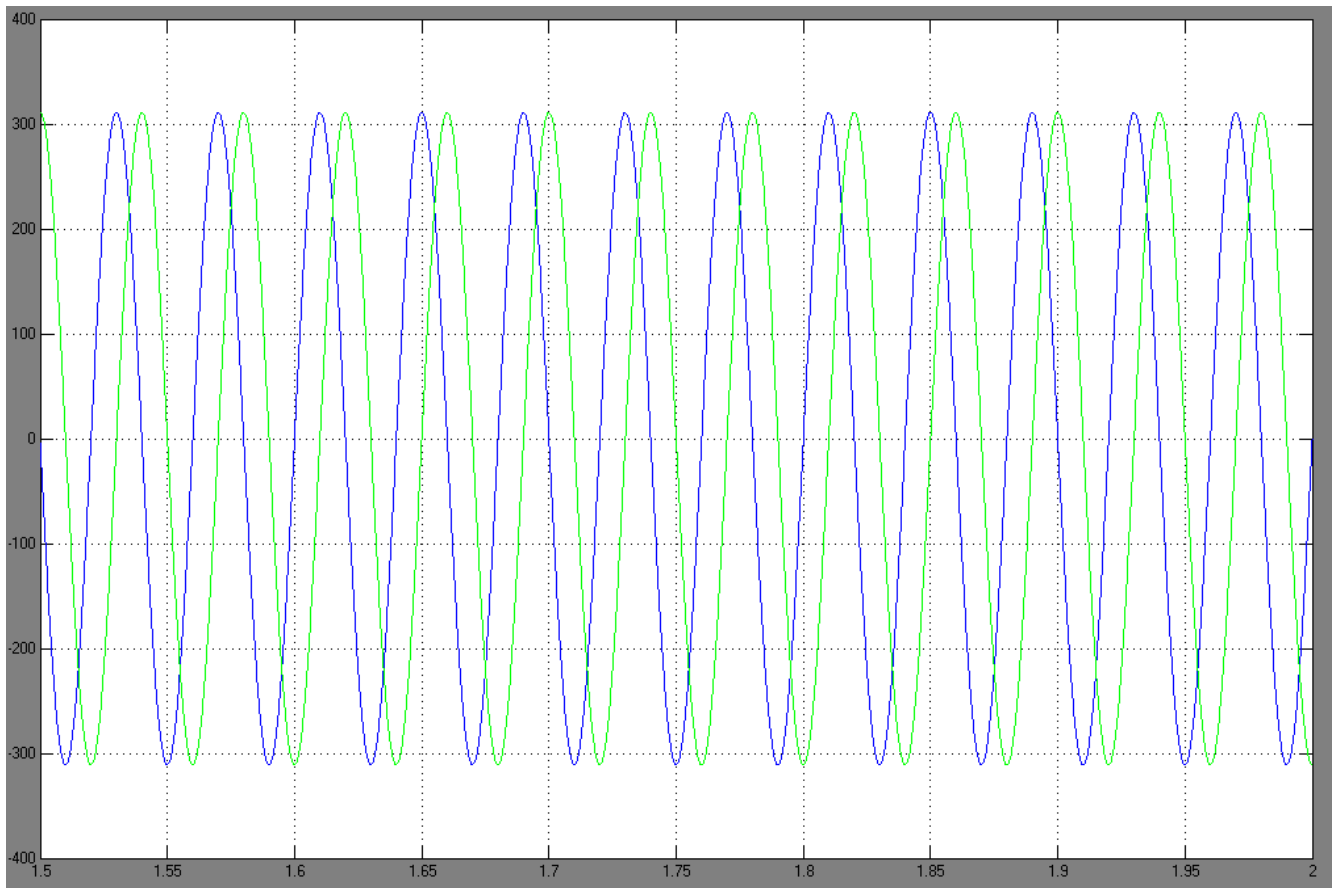


Рис.37. – Зависимость тока от времени

3. Разработка системы скалярного управления

3.1 Статические характеристики вентилятора при регулировании скорости

по закону регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = const$ с **IR**-компенсацией

При регулировании скорости при помощи данного закона, необходимо повышать фазное напряжение на двигателе на величину, определенную уравнением $U_1 = E_1 + I_1 \cdot R_1$, т.е. на величину падения напряжения на R_1 .

$$f_{1n1} = 50 \text{ Гц}; \quad f_{11}^* = \frac{f_{1n1}}{f_{1n}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$f_{1n2} = 25 \text{ Гц}; \quad f_{12}^* = \frac{f_{1n2}}{f_{1n}} = \frac{25}{50} = 0,5;$$

$$f_{1n3} = 10 \text{ Гц}; \quad f_{13}^* = \frac{f_{1n3}}{f_{1n}} = \frac{10}{50} = 0,2;$$

$$f_{1n4} = 5 \text{ Гц}; \quad f_{14}^* = \frac{f_{1n4}}{f_{1n}} = \frac{5}{50} = 0,1;$$

Для поддержания отношения $\frac{U_1}{f_1^2} = const$, необходимо изменять напряжение:

$$U_{1n1} = 0,088 \cdot f_{1n1}^2 \quad U_{1n2} = 220B;$$

$$U_{1n2} = 0,088 \cdot f_{1n2}^2 \quad U_{1n2} = 55B;$$

$$U_{1n3} = 0,088 \cdot f_{1n3}^2 \quad U_{1n2} = 8,8B;$$

$$U_{1n4} = 0,088 \cdot f_{1n4}^2 \quad U_{1n2} = 2,2B;$$

Синхронная скорость на естественной характеристике определяется формулой:

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = 157,07 \text{ рад / с}$$

Синхронная скорость на регулировочных характеристиках:

$$\omega_{11} = \omega_0 \cdot f_{11}^* = 157,07 \cdot 1 = 157,07 \text{ рад / с};$$

$$\omega_{12} = \omega_0 \cdot f_{12}^* = 157,07 \cdot 0,5 = 78,54 \text{ рад / с};$$

$$\omega_{13} = \omega_0 \cdot f_{13}^* = 157,07 \cdot 0,2 = 31,41 \text{ рад / с};$$

$$\omega_{14} = \omega_0 \cdot f_{14}^* = 157,07 \cdot 0,1 = 15,71 \text{ рад / с};$$

Электромеханические характеристики, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2'(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa}^2 \cdot f_1 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot f_1}\right)^2}},$$

где $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ - относительное скольжение.

Пример расчета для $s=1$, $R_1 = 0,467 \text{ Ом}$, $f_{11}^* = 1$:

$$I_2'(s) = \frac{220}{\sqrt{\left(0,467 + \frac{0,452}{1}\right)^2 + 4,33^2 \cdot 1 + \left(\frac{0,467 \cdot 0,452}{1 \cdot 53,459 \cdot 1}\right)^2}} = 49,7 \text{ A}$$

Электромеханические характеристики представлены на рисунке 38.

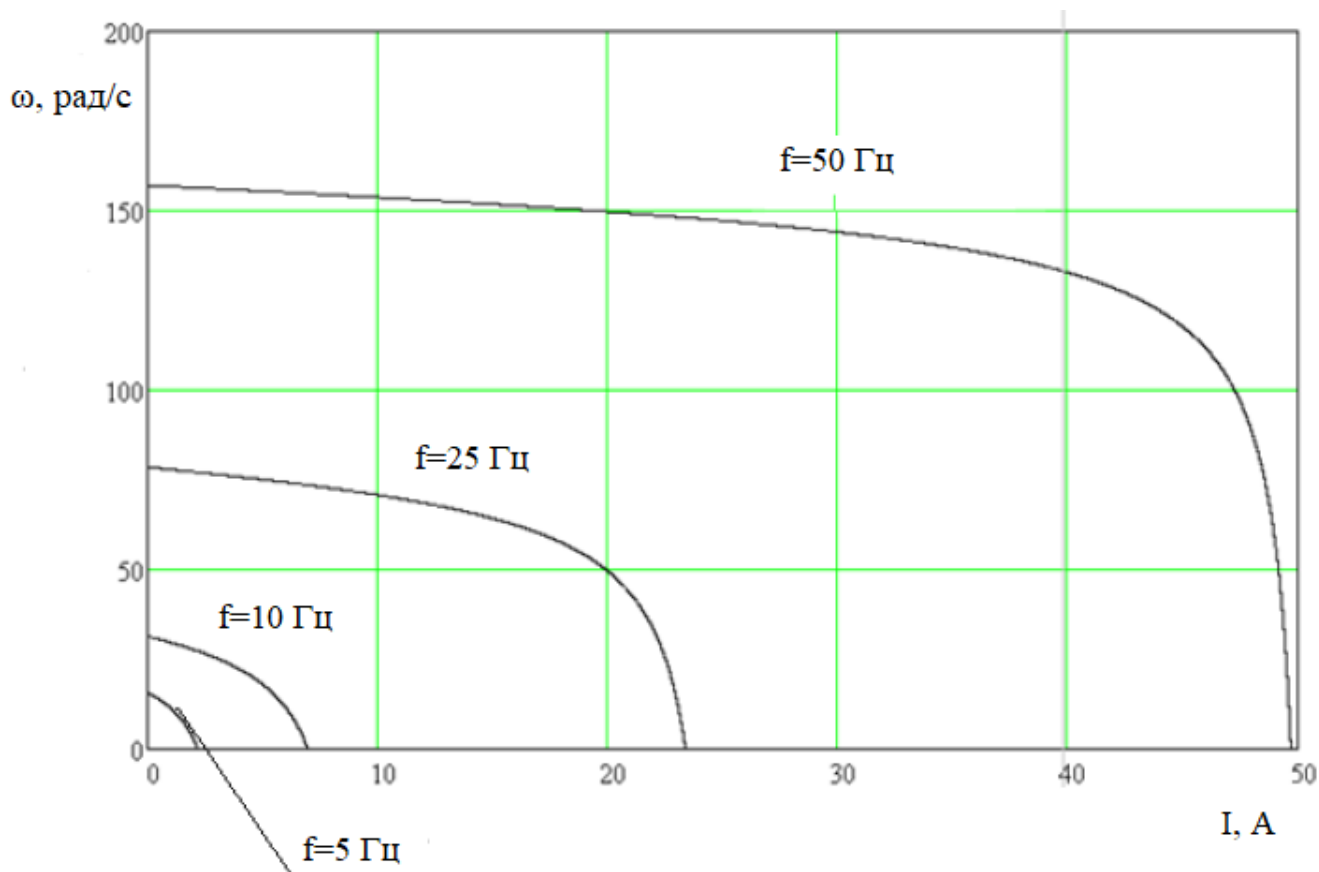


Рис.38. – Электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_1 = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным, ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти с помощью формулы:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} = 53,16 A$$

$$\text{где } \varphi_2(s) = \arcsin \left[\frac{X_{KH} \cdot f_{11}^*}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot (f_{11}^*)^2}} \right]$$

Электромеханические характеристики для тока статора АД приведены на рисунке 39.

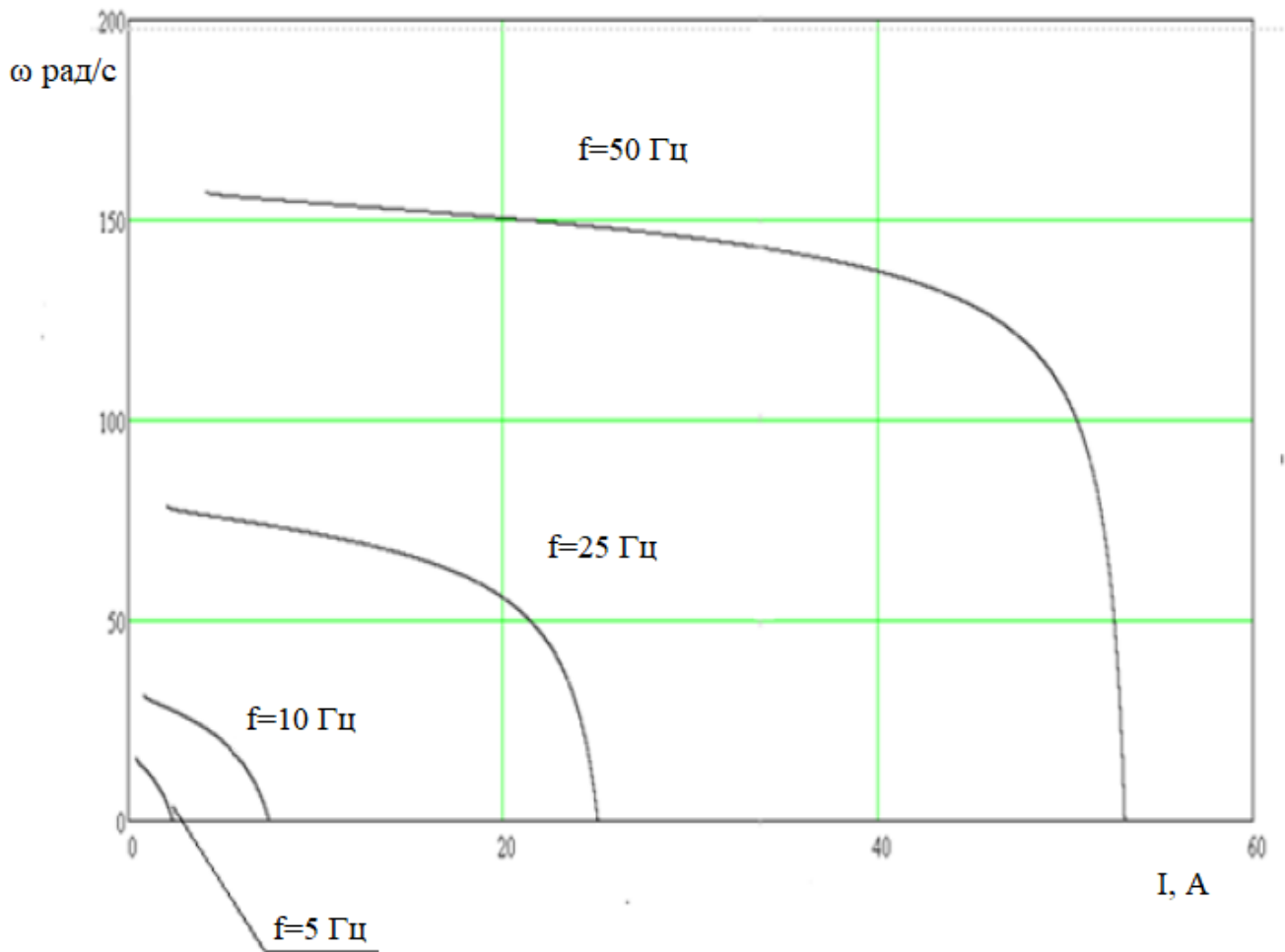


Рис.39. – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$

Выражение для расчета механических характеристик имеет следующий вид:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1 \cdot R_2'}{\omega_{0n} \cdot s \cdot \left[X_{\kappa}^2 \cdot f_1^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot f_1} \right)^2 \right]}.$$

Пример расчета критического скольжения и критического момента для

$R_1 = 0,467 \text{ Ом}$, $f_{11}^* = 1$:

$$S_{kp} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot (f_{11}^*)^2} \right) + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot (f_{11}^*)^2}}$$

$$M_{kp} = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot (f_{11}^*)^2} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot (f_{11}^*)^2} \right) \right]} = 96,85 \text{ Н}$$

Механические характеристики АД представлены на рисунке 40.

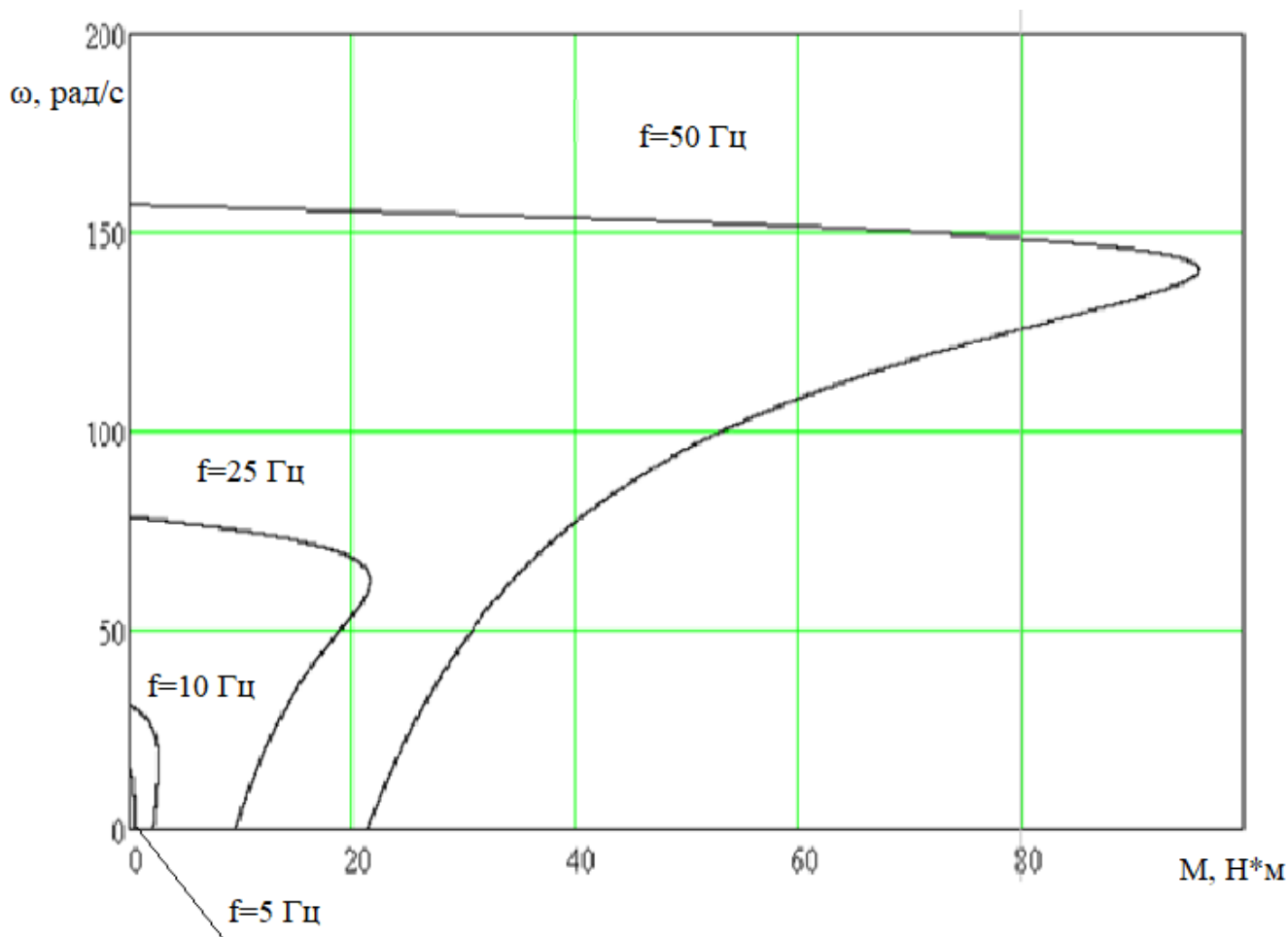


Рис.40. – Механические характеристики АД

3.2 Проверка работоспособности предлагаемого способа скалярного управления на основе имитационной модели АД

Смоделируем имитационную модель привода. Для этого найдем передаточные функции входящих в нее блоков. Представим математически рассчитанную и аппроксимированную ломанными линиями кривую зависимости $U_{1\phi} = 0,0046 \cdot f_1^2$.

Кривая задается в блоке ПЧН с шестью точками:

1. $f=5$ Гц, 2. $f=10$ Гц, 3. $f=15$ Гц, 4. $f=25$ Гц, 5. $f=35$ Гц, 6. $f=50$ Гц.

Инвертор напряжения представим аperiodическим звеном. Его передаточная функция имеет вид:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0002p + 1},$$

где $k_{ин} = 1$ - коэффициент передачи инвертора;

напряжения, где $f_{нч} = 5000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

$$W_{KM}(p) = \frac{k_{KM}}{T_{KM} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,02p + 1},$$

$T_{км}$ - постоянная времени задержки измерения тока. Для современных контроллеров составляет $T_{км} = 0,02с$.



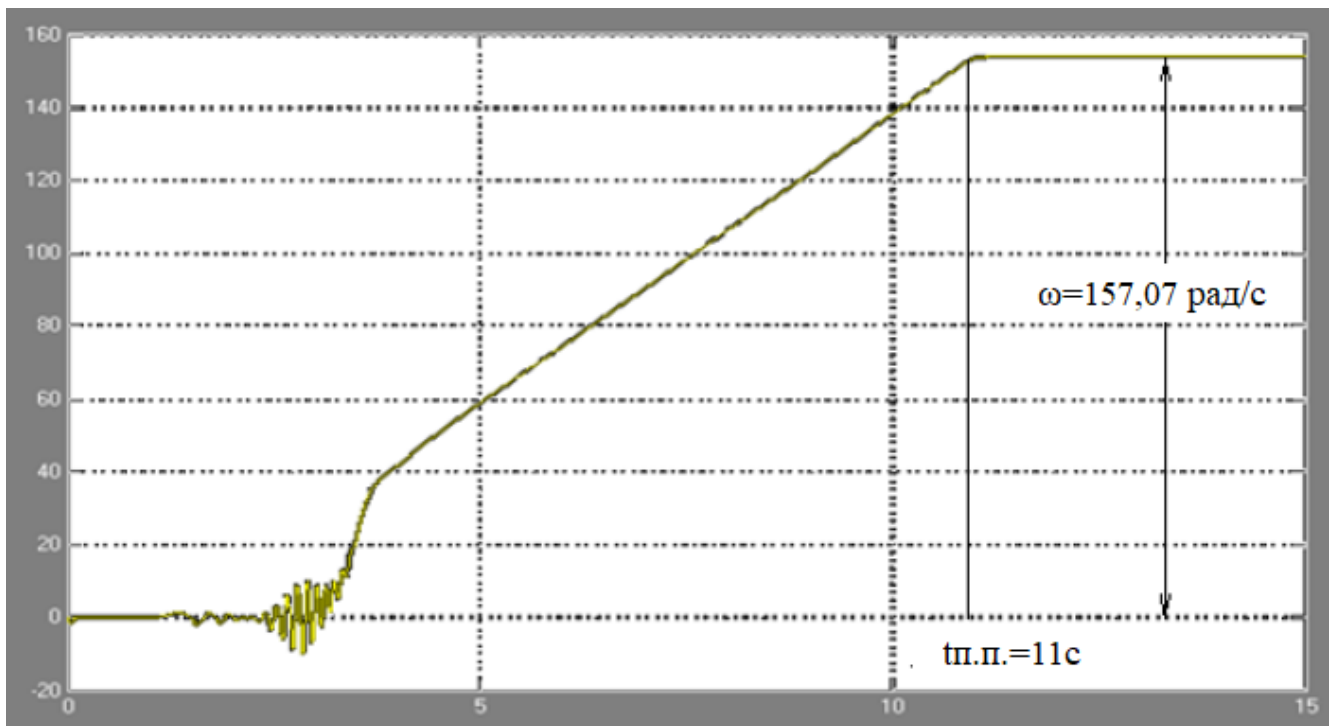


Рис.42. – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}} = 0,1$

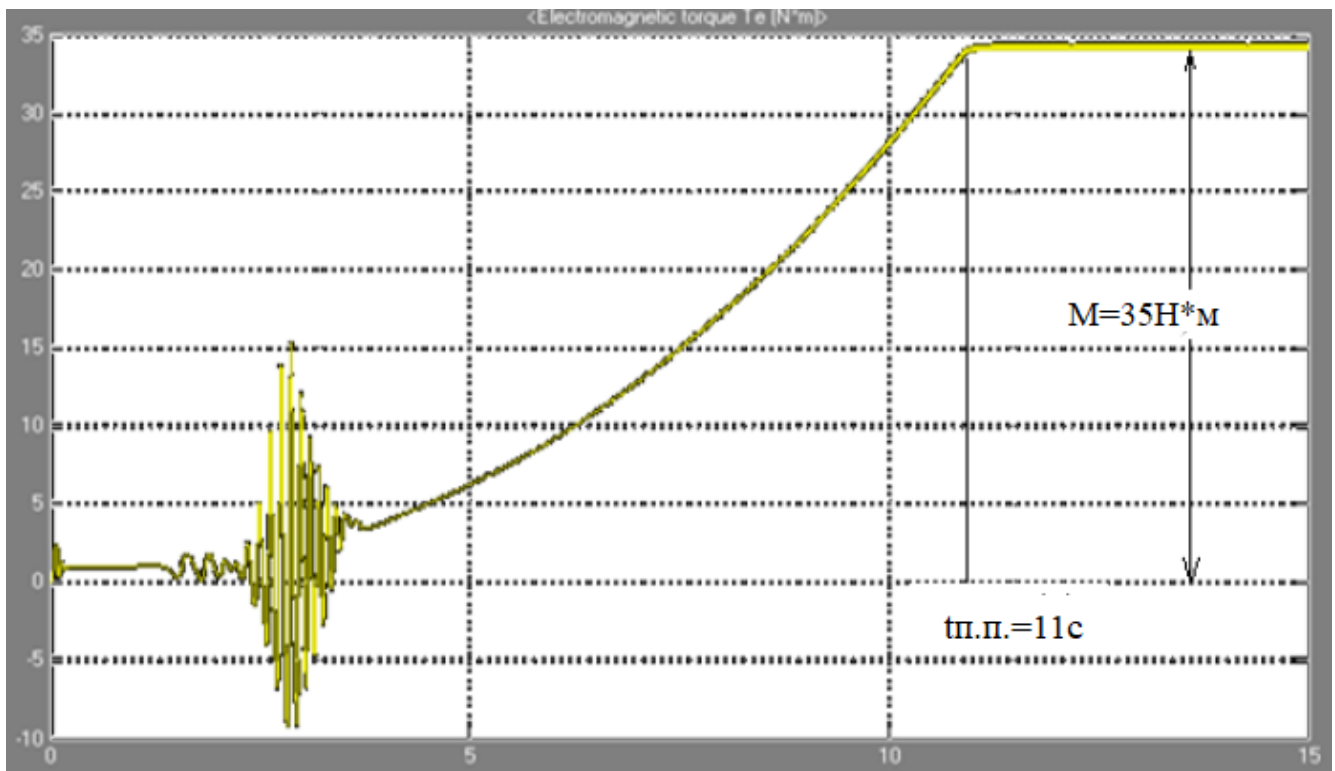


Рис.43. – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}} = 0,1$

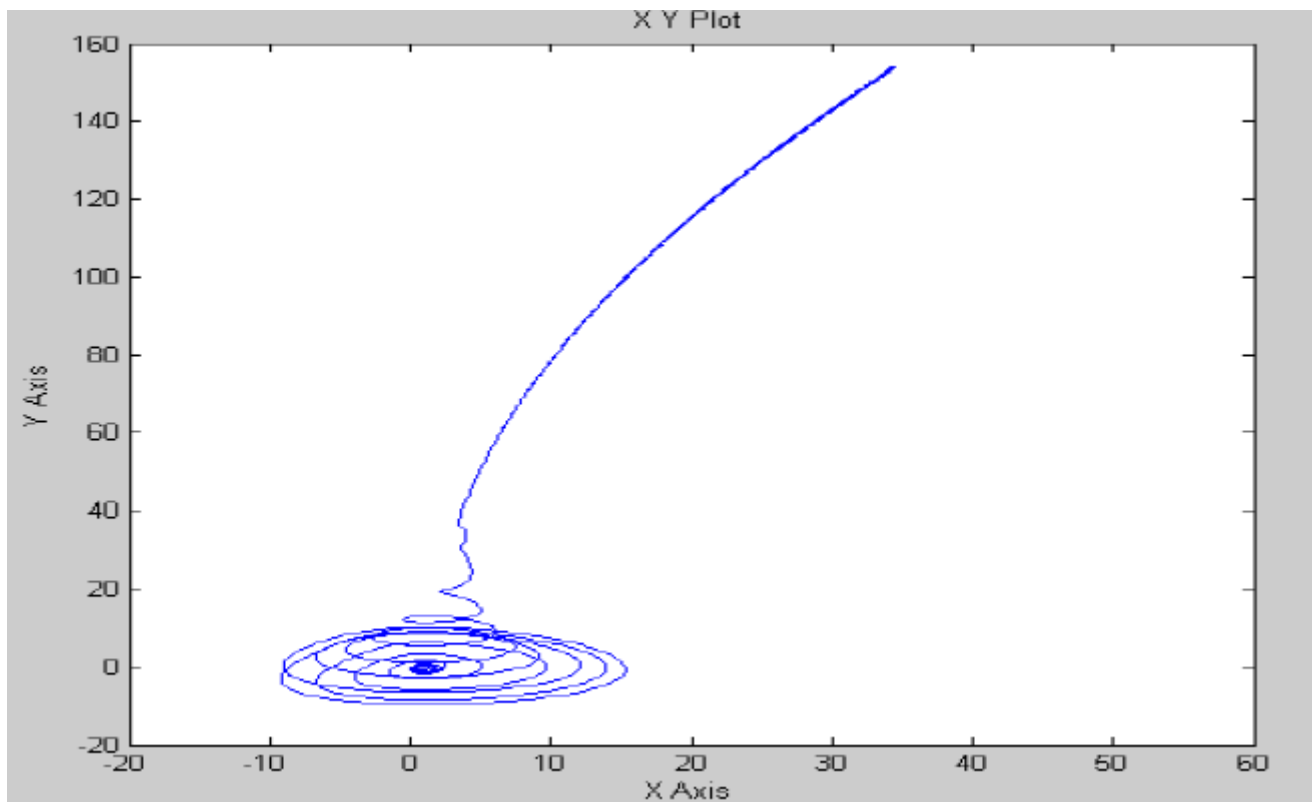


Рис.44. – Динамические характеристики при частоте 50 Гц и $k_{\text{км}} = 0,1$

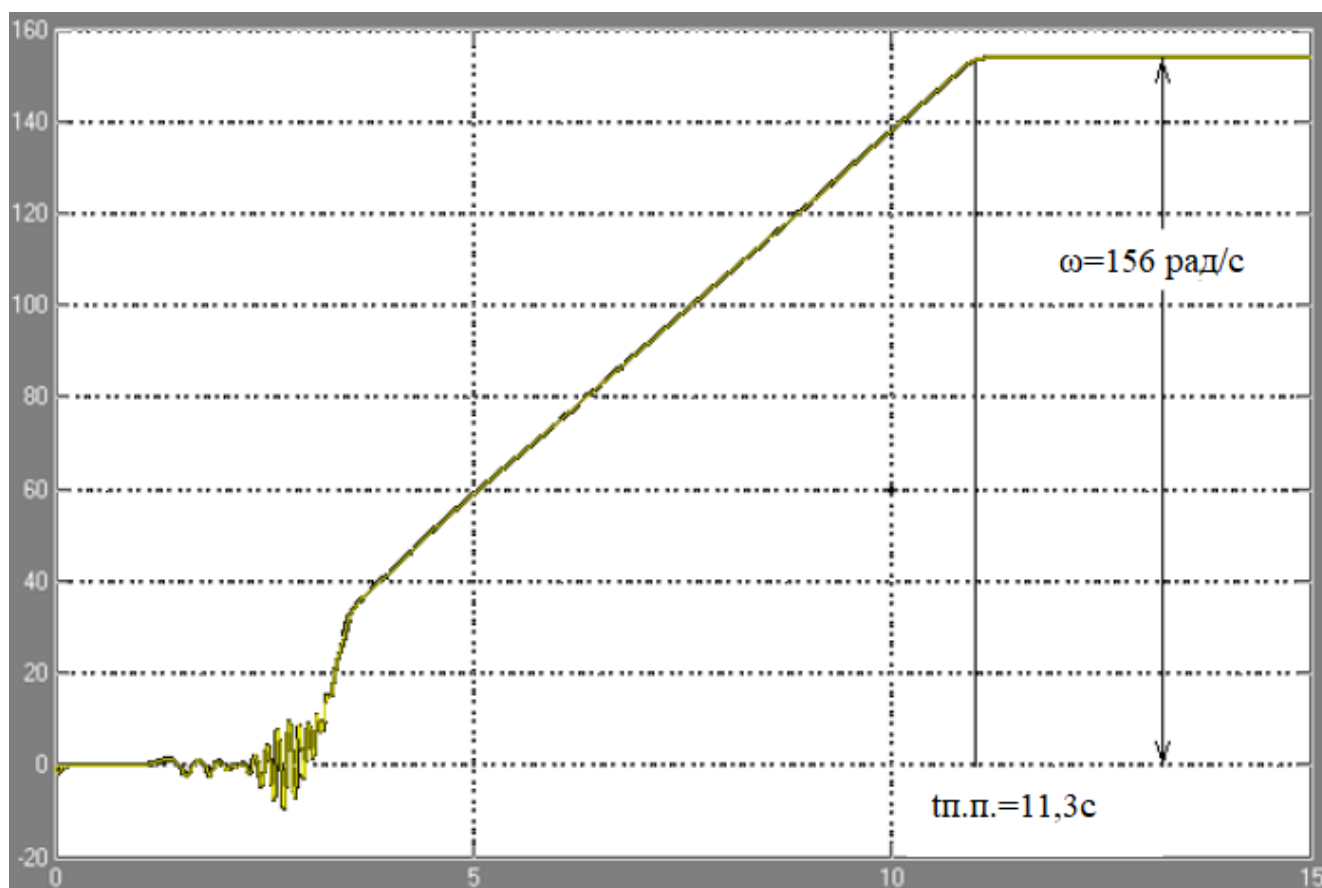


Рис.45. График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{км}} = 0,25$

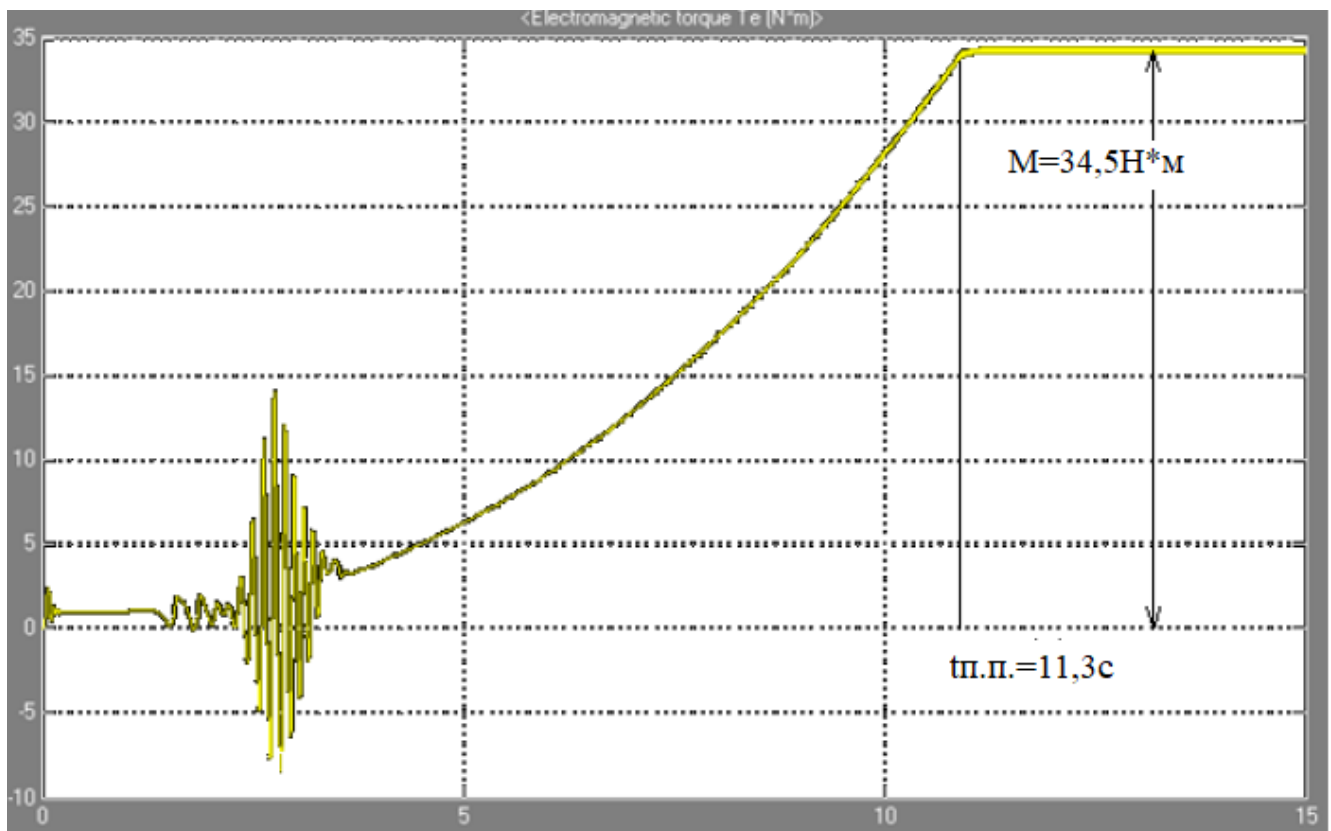


Рис.46. – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}} = 0,25$

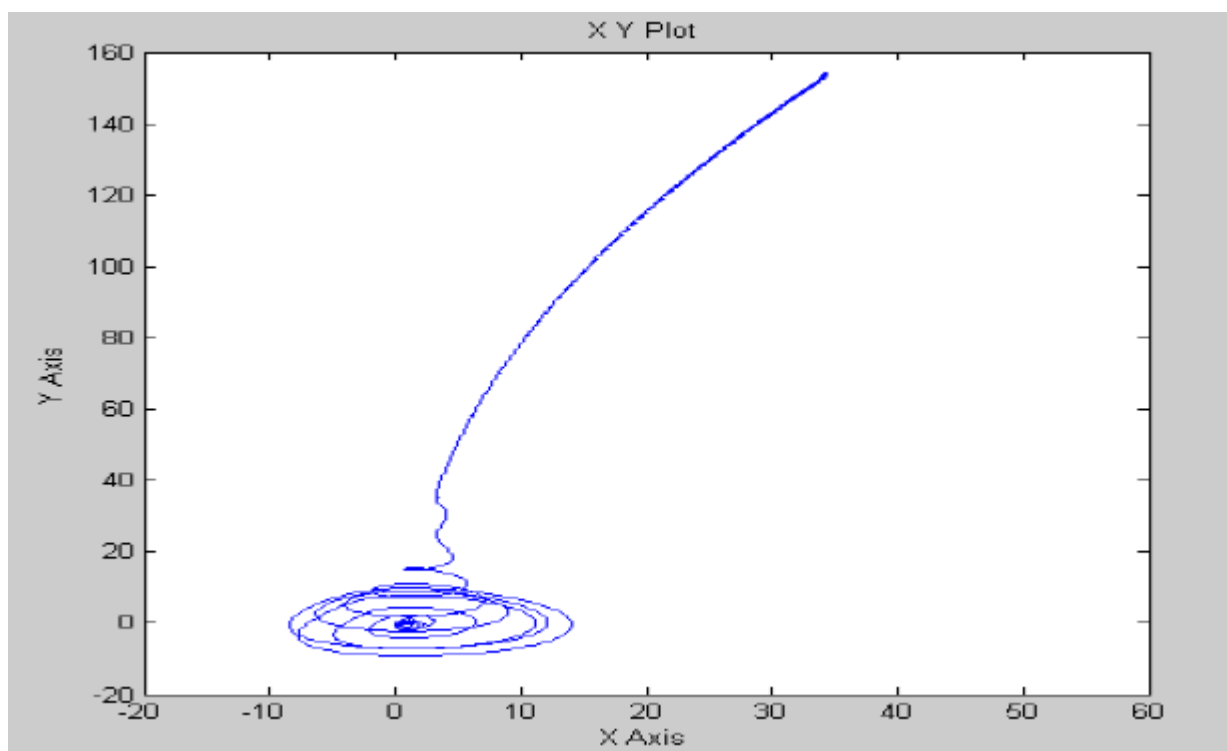


Рис.47. – Динамические характеристики при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}} = 0,25$

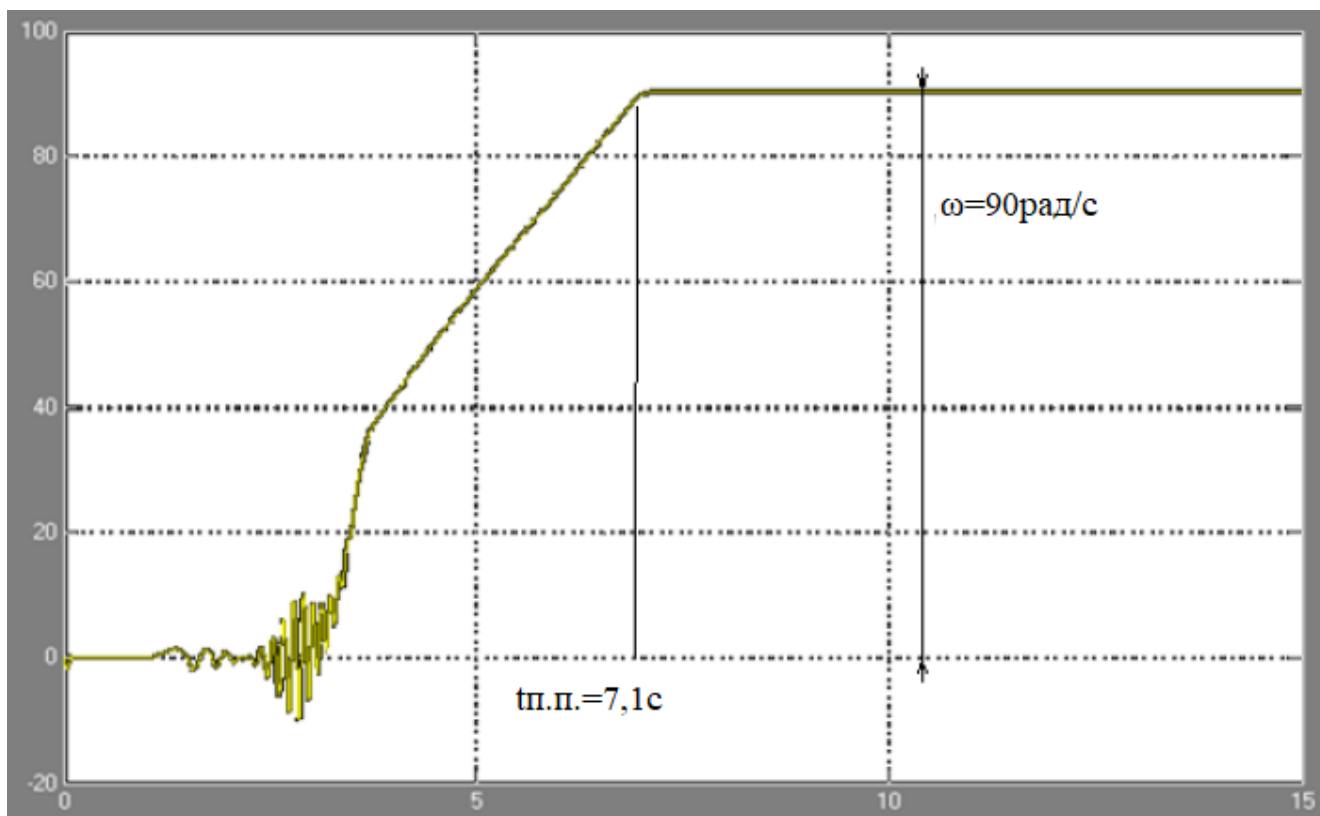


Рис.48. График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 30 Гц и $k_{\kappa\mu} = 0,1$

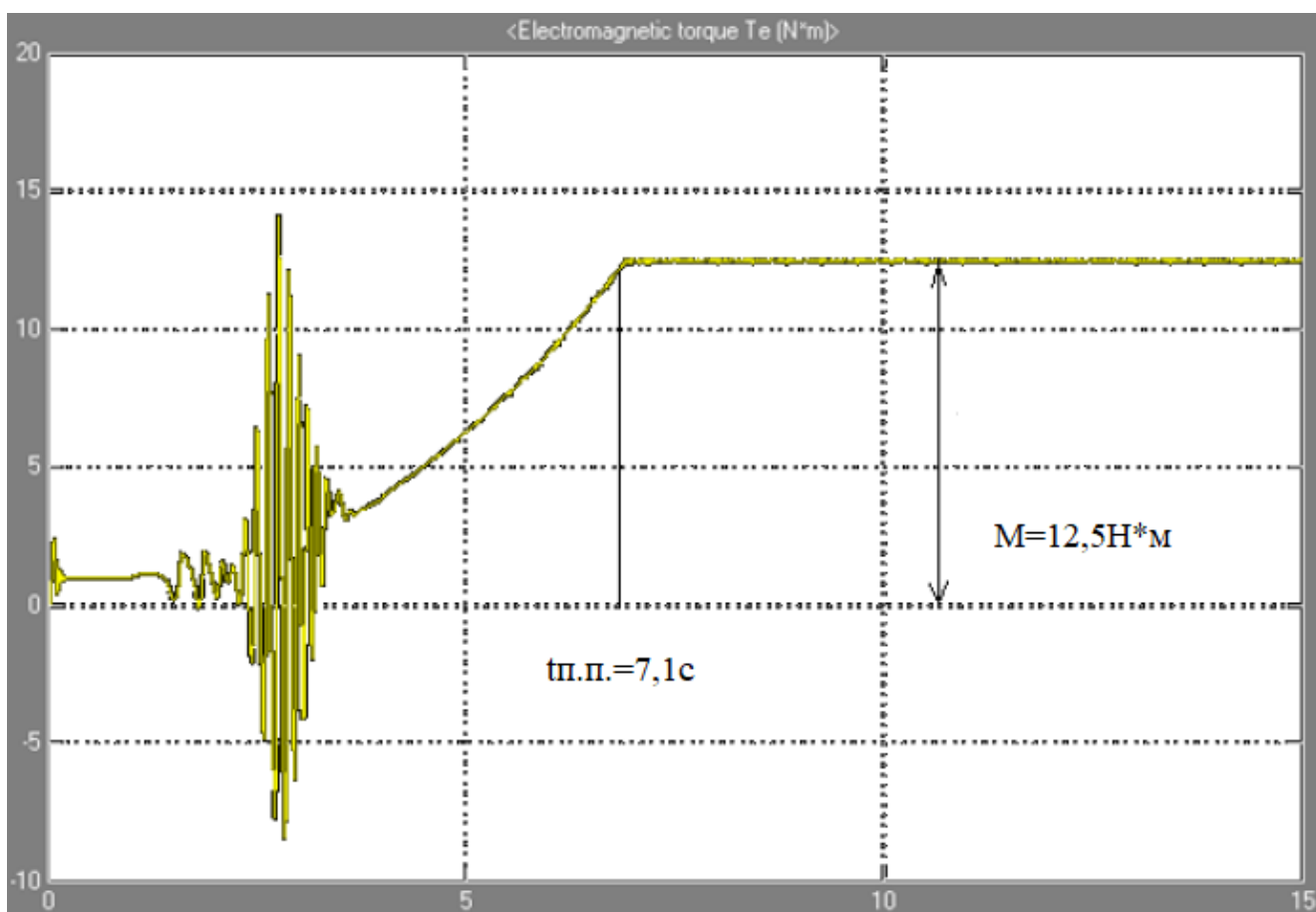


Рис.49. – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 30 Гц и $k_{\kappa\mu} = 0,1$

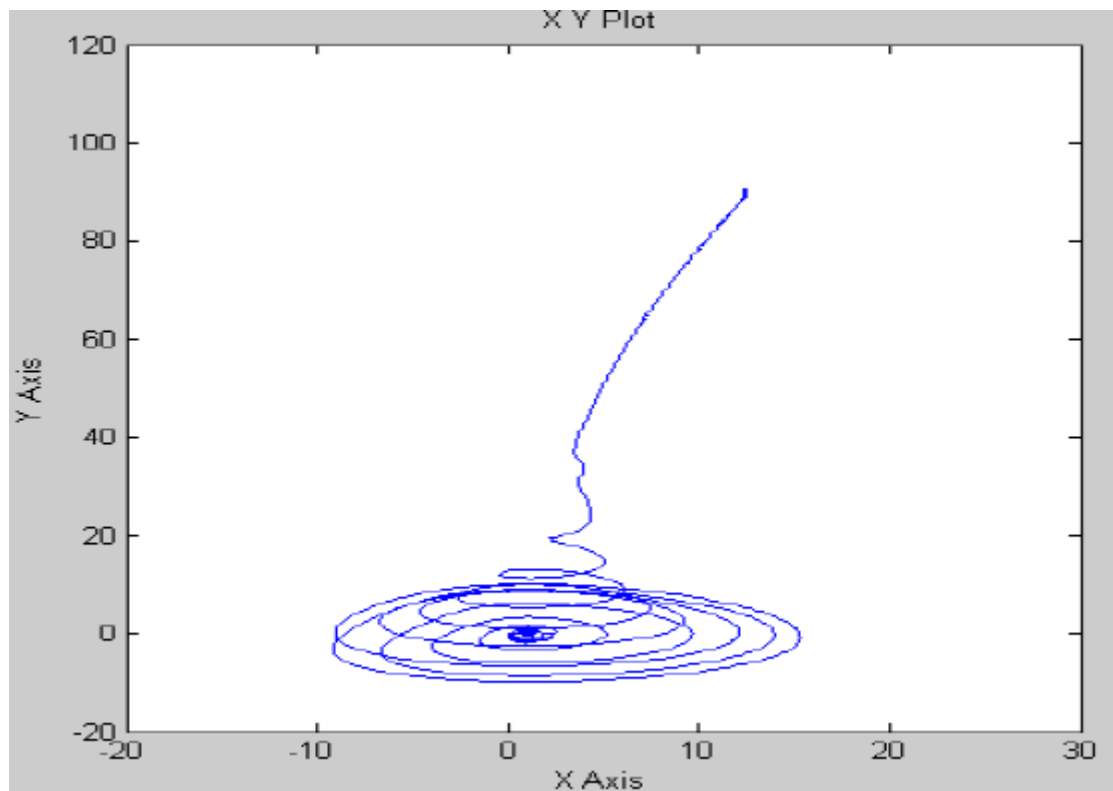


Рис.50. – Динамические характеристики при частоте 30 Гц и $k_{\kappa\mu} = 0,1$

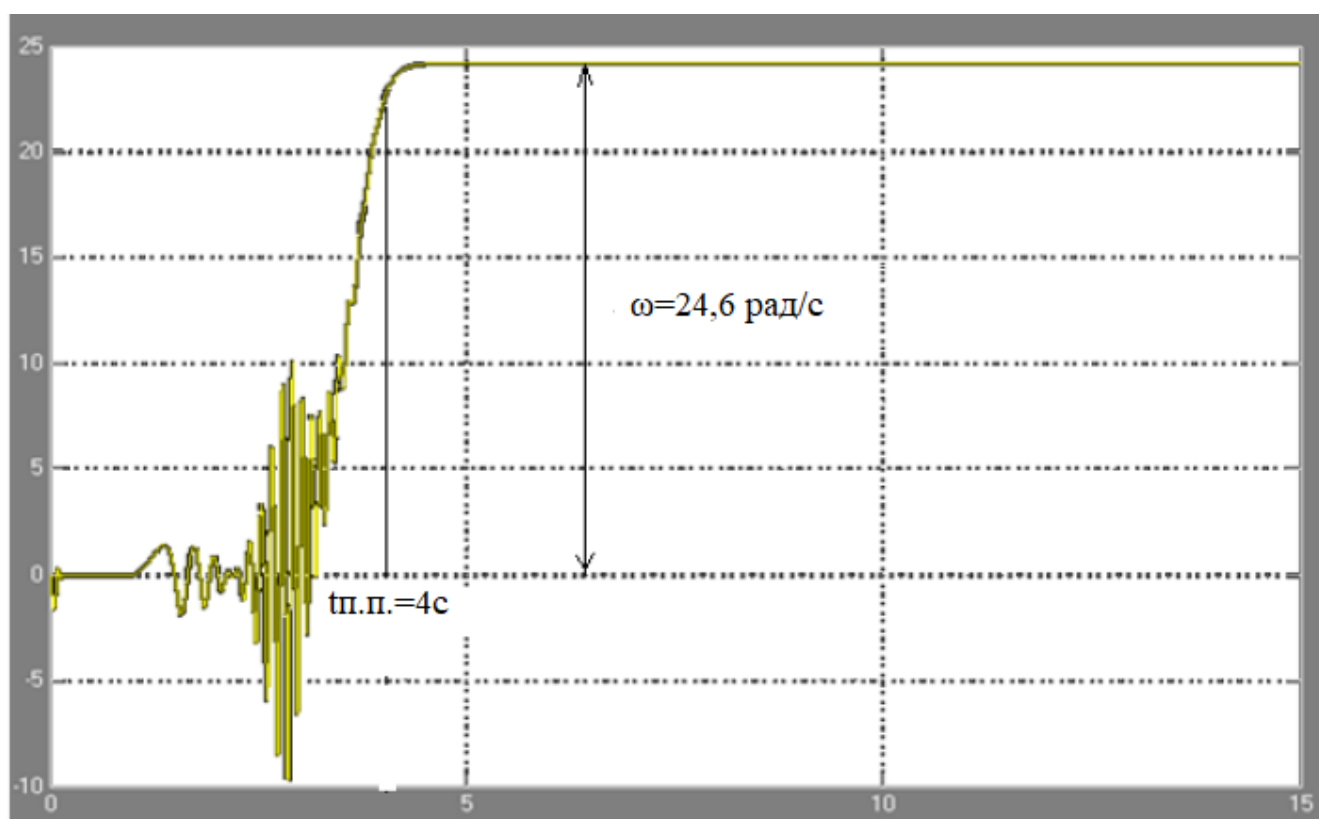


Рис.51. График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\kappa\mu} = 0,1$

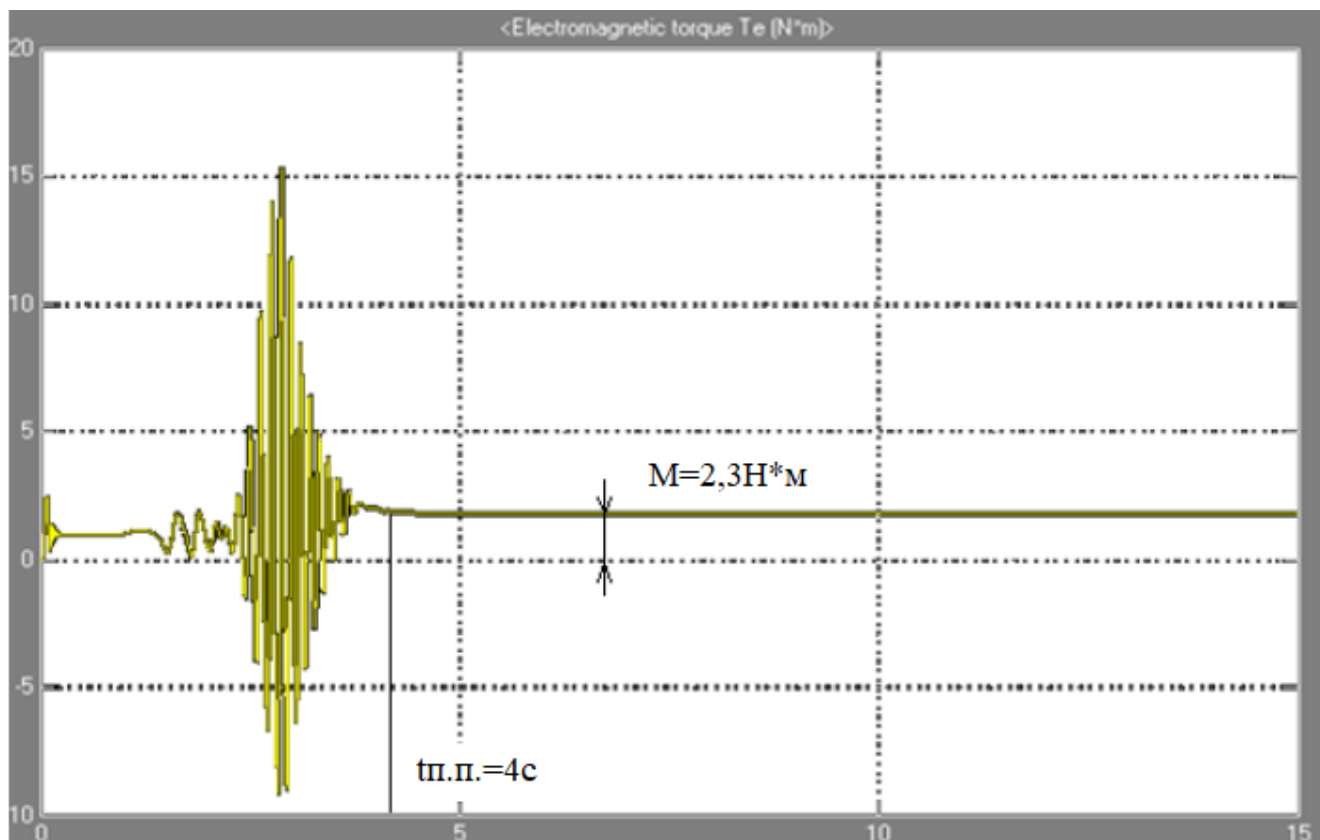


Рис.52. – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\kappa M} = 0,1$

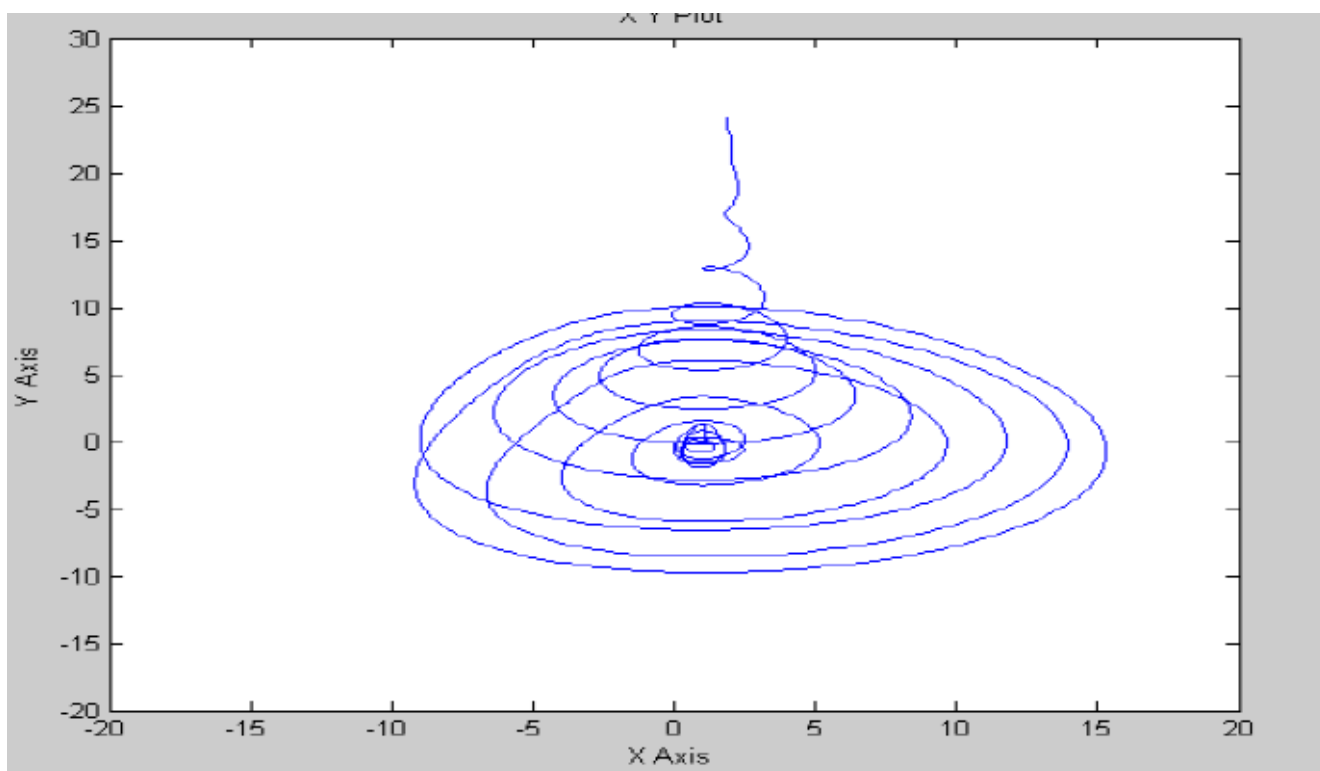


Рис.53. – Динамические характеристики при частоте 10 Гц и $k_{\kappa M} = 0,1$

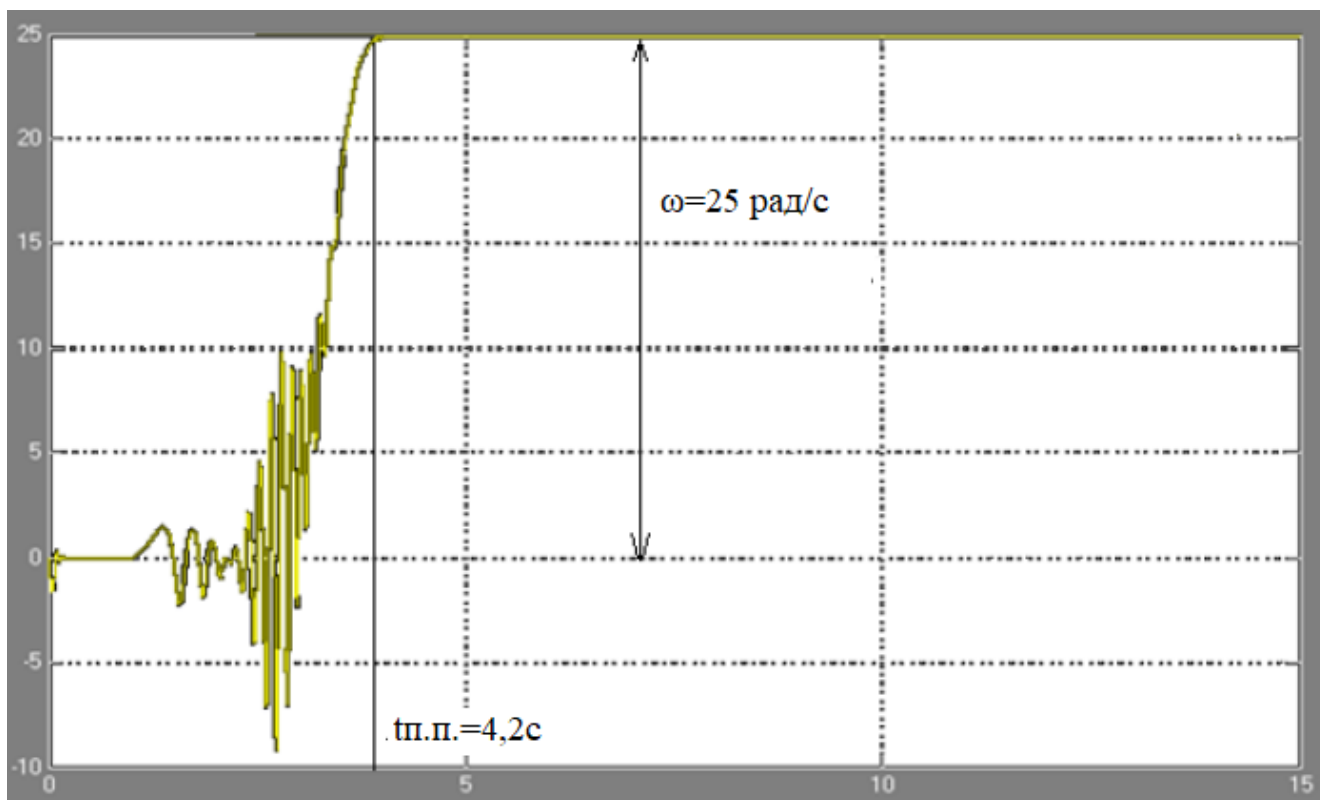


Рис.54. График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{км} = 0,25$

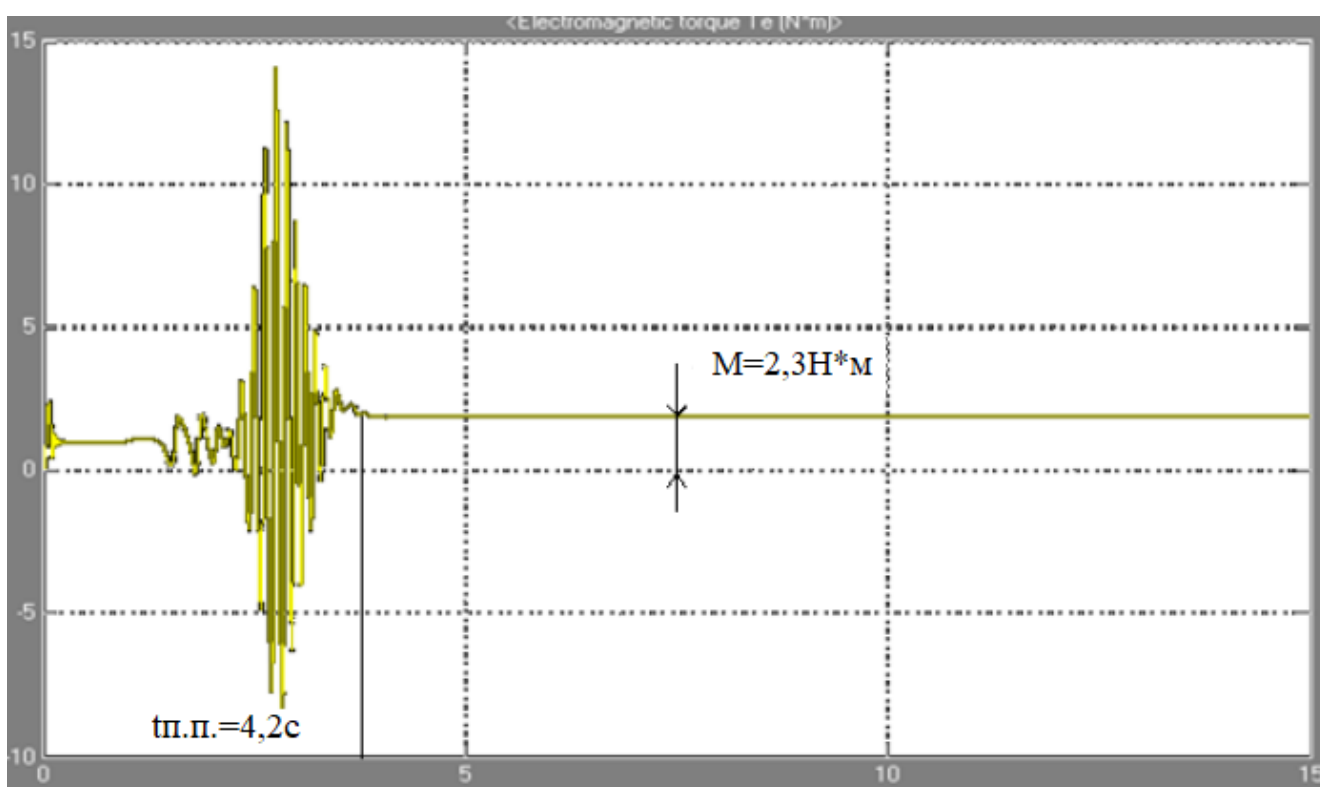


Рис.55. – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{км} = 0,25$

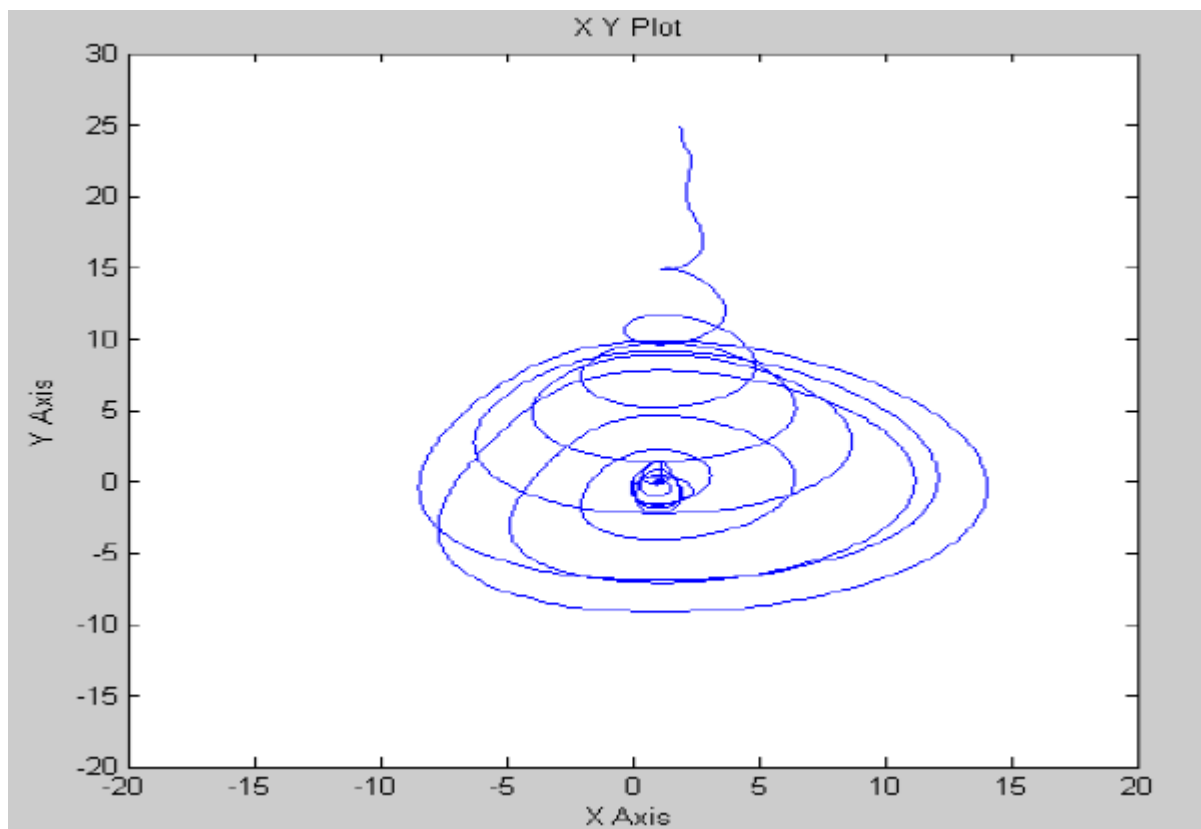


Рис.56. – Динамические характеристики при частоте 10 Гц и $k_{\text{км}} = 0,25$

Исходя из полученных графиков можно сделать вывод, что при увеличении коэффициента $k_{\text{км}}$ увеличивается время переходного процесса. Так же при увеличении $k_{\text{км}}$ увеличиваются колебания момента, что видно на графиках переходных процессов $M = f(t)$.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела работы является экономическое обоснование исследования асинхронного электропривода системы вентиляции производственного помещения.

Задачи раздела: провести анализ конкурентных технических решение, спланировать научно – исследовательскую работу и определить расходы на проектирование.

Область возможного применения: производственные помещения.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ помогает методом сравнения оценить сильные и слабые стороны рассматриваемых асинхронных электроприводов системы вентиляции, чтобы наиболее обосновано выбрать установку для дальнейшего проектирования. Наиболее часто один вариант не может обладать сразу всеми техническими и экономическими показателями в высшей степени, поэтому данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который в целом обладает наивысшей конкурентоспособностью.

Для того чтоб провести оценку конкурентоспособности нужно рассмотреть три вида наиболее конкурентоспособных двигателей это:

- асинхронный электродвигатель (А);
- параметрический электродвигатель (П);
- особо параметрический (ОП).

Сравнение характеристик выбранных электродвигателей представлено в оценочной карте. Оценочная карта представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		А	П	ОП	А	П	ОП
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Мощность при 50 и 60 Гц	0,35	5	5	5	1,75	1,75	1,75
Номинальное напряжение при 50 и 60 Гц	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
Номинальный ток	0,20	3	4	5	0,6	0,8	1
КПД	0,20	4	5	3	0,8	1	0,6
Наличие плавного пуска	0	3	3	5	0	0	0

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ, расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/20=0,35
Б	1	-	1	1	2	5/20=0,25
В	0	1	-	1	2	4/20=0,20
Г	0	1	1	-	2	4/20=0,20
Д	0	0	0	0	-	0/20=0
ИТОГО:	1	3	4	4	8	20

Пояснения к таблице:

А – Мощность;

Б – Номинальное напряжение;

В – Номинальный ток;

Г – КПД;

Д – Наличие плавного пуска.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,35 \times 5 = 1,75$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(A) = 1,75 + 1,25 + 0,6 + 0,8 + 0 = 4,4$$

$$K(П) = 1,75 + 0,75 + 0,8 + 1 + 0 = 4,3$$

$$K(ОП) = 1,75 + 1 + 1 + 0,6 + 0 = 4,35$$

В ходе результата анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладают асинхронные погружные электродвигатели, так как выигрывает по цене, габаритам, номинальному напряжению.

5 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо определить основные виды работ, назначить участников для каждой работы, рассчитать время, требуемое для выполнения каждой работы и в конце построить график проведения научного исследования.

5.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 7 представлены основные виды работ с указанием содержания, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступают инженер и руководитель темы.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта проектирования	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Расчет и выбор силового оборудования	Инженер
	6	Выбор преобразовательного устройства	Инженер
	7	Выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер
	8	Расчет статических и динамических характеристик	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации и проектированию	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

5.2 Определение трудоёмкости работ

Определение трудоёмкости выполняемых работ зависит от множества факторов. Учет всех факторов практически невозможен, поэтому используется ожидаемая трудоёмкость, рассчитываемая по формуле (2).

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} \quad (2)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

$t_{\text{мин}i}$ – минимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

$t_{\text{макс}i}$ – максимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

После этого определяем продолжительность какой-либо работы в рабочих днях T_p .

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{q_i} \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность работы в рабочих днях;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

q_i – количество исполнителей, которые выполняют одну и ту же работу на данном этапе.

Рассчитанная ожидаемая трудоемкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 7.

5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика Ганта будем использовать не рабочие дни, а календарные. Перевод из рабочих дней в календарные осуществляем по формуле (4).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле (5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году ($T_{\text{кал}} = 365$);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году ($T_{\text{вд}} = 52$);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году ($T_{\text{пд}} = 14$).

Значения для каждой работы представлены в таблице 8.

Пример расчета для инженера (подбор и изучение материалов по теме):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

$$T_k = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ дня}.$$

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительнос ть работ в календарны х днях T_{ki}		
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{ожі},$ чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		3	
Подбор и изучение материалов по теме		3		6		5		5		6
Описание объекта проектирования		4		6		5		5		6
Календарное планирование работ по теме	3		4		4		4		5	
Расчет и выбор силового оборудования		5		8		7		7		9
Выбор преобразовательного устройства		6		9		8		8		10
Выбор аппаратуры управления и защиты		3		6		5		5		6

Расчет статических и динамических характеристик		7		9		8		8		10
Оценка эффективности полученных результатов	1		2		2		2		3	
Составление пояснительной записки		2		3		3		3		4

На основании таблицы 8 строим график Ганта.

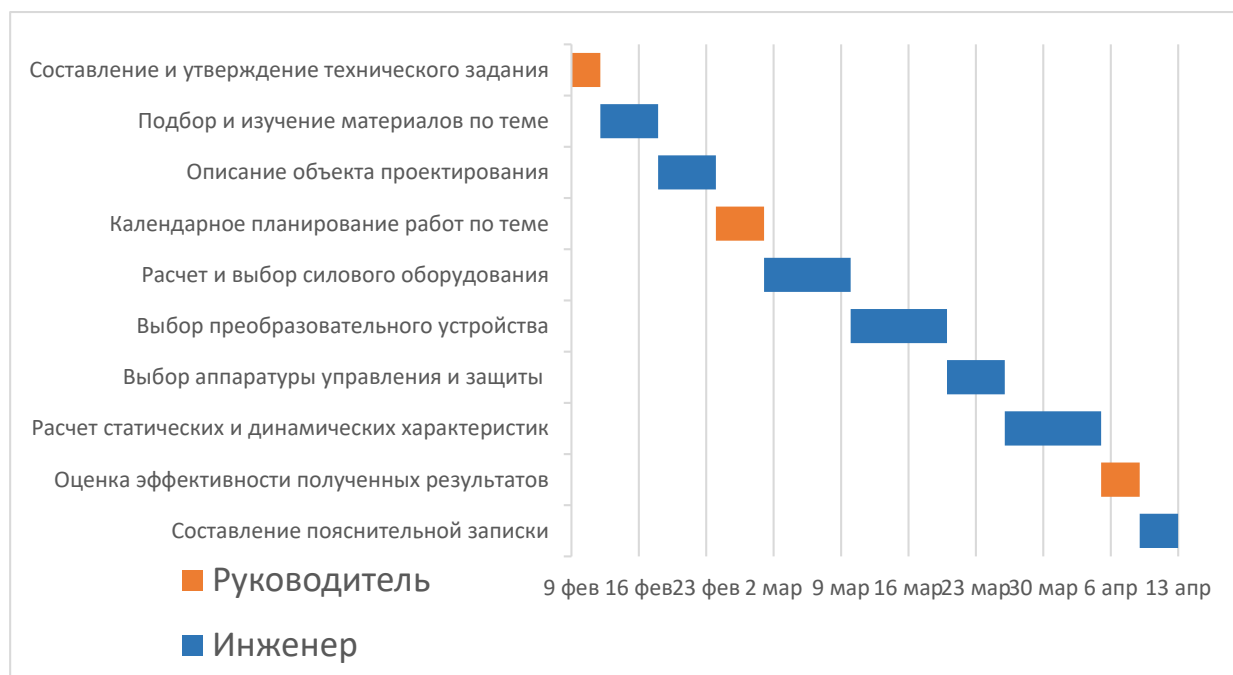


Рисунок 57 – Календарный план-график поведения НТИ

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 11 дней, а инженера 51 день.

6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Бюджет научно-технического исследования складывается из следующих статей расходов:

- материальные расходы;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.1 Материальные расходы

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага для принтера	упаковка	1	240	240
Ручки, карандаши	штук	3	30	90
Степлер	штук	1	100	100
Скоросшиватели	штук	1	60	60
Распечатка	лист	60	2	120
Итого:				610

Таким образом материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 610 рублей.

6.2 Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование:

Компьютер - 40000 рублей.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор}$$

где T_{исп.} - время использования оборудования = 49 дней;

T_г - количество использования в год = 365 дней;

C_{обор.} - стоимость оборудования = 40000;

T_{сл.} - срок службы оборудования = 3 лет

Пример расчета:

$$И(ам) = \frac{49}{365} \times \frac{1}{3} \times 40000 = 1789,9$$

6.3 Основная заработная плата

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле (6):

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (6)$$

где $З_{\text{мс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от $З_{\text{мс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{мс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (7):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}}}{26} \quad (7)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле (8):

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} \quad (8)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников научного исследования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы (9):

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (9)$$

Пример расчета для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{33150}{26} = 1275 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}} = 1275 \cdot 8 = 10200 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{зн}} = 10200 + 1530 = 11730$$

Таблица 10 – Расчёт заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1275	41	7841,25	52275
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1275	8	1530	10200
Итого									62475

6.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – это оплата за непроработанное время.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента $k_{\text{доп}}$ по формуле (10):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15),

Расчет:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 10200 = 1530 \text{ руб} \quad (\text{для руководителя}),$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 52275 = 7841,25 \text{ руб} \quad (\text{для инженера})$$

6.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (11):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Расчет:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (10200 + 1530) = 3519 \text{ руб. (руковод.)}$$

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (52275 + 7841,25) = 18035 \text{ руб. (инж.)}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	52275	7841,25
Инженер	10200	1530
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		

Руководитель	18035
Инженер	3519

6.6 Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента $k_{нр}$ по формуле (12):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр} \quad (12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (610 + 62475 + 9371,25 + 21554 + 1655,7) \cdot 0,16 = 15306,6 \text{ руб.}$$

6.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

После того как рассчитаны все статьи затрат научно-исследовательского проекта, можно сформировать окончательный бюджет затрат НИИ.

Структура бюджета затрат научного исследования представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные расходы	610	0,5
2. Амортизация	1655,7	1,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	62475	56,3

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9371,25	8,5
5. Отчисления во внебюджетные фонды	21554	19,5
6. Накладные расходы	15306,6	13,7
7. Бюджет затрат НТИ	110973	100

В ходе выполнения всех поставленных задач была произведена оценка конкурентоспособности трёх различных электродвигателей. В результате данного анализа был выбран наиболее конкурентоспособный вариант, которым является асинхронный электродвигатель, т.к. выигрывает по цене, габаритам, номинальному напряжению.

Также было осуществлено планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников и составлен ленточный график проведения их работ в форме диаграммы Ганта. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ для руководителя составляет 8 рабочих дней, а для инженера 41 рабочий день. Общий бюджет проекта НТИ составил 110973 рубля, который складывается из расходов на заработную плату работников (71846,25 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (21554 руб.), материальные расходы (610 руб.), амортизацию (1655,7 руб.) и накладные расходы (15306,6 руб.).

При использовании выбранного асинхронного электродвигателя повышается эффективность работы за счет уменьшения общего расхода на оборудование, повышения надежности и обеспечения безотказной, длительной работы.

7. Социальная ответственность

Социальная ответственность представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов труда работников стояночного бокса, разработка мер защиты от них, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Кроме того, в разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

7.1 Анализ опасных и вредных факторов труда

Во время выполнения своих трудовых обязанностей рабочий использует различные предметы и орудия труда, а также взаимодействует с другими людьми. Еще не маловажным является и воздействие на него различных параметров окружающей среды на рабочем месте. То есть условия напрямую обозначают отношение человека к выполняемой им работе, а уже от этого непосредственно зависят результаты труда. Плохие условия труда зачастую снижают работоспособность человека и не редко являются причиной возникновения профессиональных заболеваний и травм.

Для создания благоприятных условий труда площадь требуемого рабочего помещения должна соответствовать и количеству работников, и находящемуся там оборудованию. Стоит заметить, что значительную роль выполняет окраска рабочего помещения, которая должна соответствовать цвету оборудования. Правильно выбранный цвет на рабочем месте положительно влияет на нервную систему человека и как следствие, на эффективность результатов труда. А также освещенность помещения напрямую зависит от окраски стен.

Необходимо выделить четыре вида опасных и вредных производственных факторов: первый вид – физические воздействия, второй вид – химические воздействия, третий вид – биологические воздействия, и, наконец, четвертый вид – психофизиологические воздействия.

Состояние здоровья и самочувствие группы людей, обслуживающих вентиляционную установку, зависит от физического и психофизиологического воздействия.

Физически опасным фактором является возможность поражения персонала электрическим током.

А вот физические вредные факторы обуславливаются, например, различными природными катаклизмами, чрезмерным шумом, недостаточной освещенностью, воздействием электромагнитного поля. Психофизическими производственными факторами являются статические, динамические и нервно-психические перегрузки. У человека возникают умственные напряжения, утомления, эмоциональная усталость.

Проанализировав данный раздел можно сделать вывод, что колоссальное значение в процессе труда имеет правильная организация рабочего места.

7.2 Шум и вибрации

Одни из вредных факторов на производстве – шум и вибрации. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. В стояночном боксе допускается громкость около 100 Дб. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Шум на рабочем месте создается вентиляционной системой и производственным оборудованием.

Мероприятия по борьбе с шумом:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения: повышение качества балансировки вращающихся деталей, улучшение смазки трущихся поверхностей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования;
- применение специальных средств индивидуальной защиты: противοшумные наушники, шлемы, вкладыши.

Таблица 13 – Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-83)

Категория машины	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Вибрацию можно наблюдать при работе любого оборудования, во время прохождения транспорта.

Защита от вибраций должна начинаться, прежде всего, с их ликвидаций.

Коллективные методы защиты:

- улучшение работы механизмов;
- применение амортизаторов (резиновых, пружинных, пневматических);
- использование виброгасящего основания под соответствующее оборудование.

Средства индивидуальной защиты: специальные рукавицы, перчатки, виброзащитные прокладки и обувь.

Таблица 14 – Допустимые амплитуды виброперемещений для различных условий воздействий вибрации (ГОСТ 12.1.012-90)

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, $\text{м} \times 10^{-3}$		
	на постоянных рабочих местах стационарных машин в производственных помещениях	в производственных помещениях, не имеющих источников вибрации	в помещениях работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом
2	1,4	0,57	0,2026
4	0,25	0,1	0,0354
8	0,063	0,025	0,0090
16	0,0282	0,112	0,0039
31,5	0,0141	0,0056	0,0020
63	0,0072	0,0028	0,0010

7.3 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Недостаточная степень освещения рабочего места и помещения является вредным фактором, пагубно влияющим на здоровье человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности.

В помещении вентиляционной камеры используется искусственное освещение. Для обеспечения требуемого освещения произведем его расчет.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий.

Персонал стояночного бокса следит за контролируемыми параметрами с местного пульта управления, напрягая при этом зрение. По нормам освещения и отраслевым нормам освещения рекомендуется 300-500 лк при общем освещении.

7.4 Микроклимат

Важными параметрами для создания комфортной обстановки внутри рабочего помещения являются: оптимальная температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, которые зависят от степени физической нагрузки рабочего персонала и от времени года.

По степени физической тяжести работа персонала относится к категории тяжелых работ. Основные нагрузки на организм – физические, нервно-

психологические, а также зрительные. В основном все метрологические параметры цеха удовлетворяют требуемым нормам.

На производительность труда и состояние здоровья человека оказывает влияние состояния воздуха и метеоусловий рабочей зоны, которые характеризуются рядом параметров.

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет не более 10мг/м³.

Одновременно в рабочем помещении находится в среднем 3 человека, вентиляция в помещении искусственная: приточно-вытяжная. Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха 22-24°C используют систему отопления на трубчатых, самоварных регистрах.

Таблица 15 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата в вентиляционной камере.

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Тяжелая - III	16-18	13-19	40-60	<75	<0,3	<0,5
Теплый		18-20	15-26		<75 (при 24°C)	<0,4	0,2-0,6

7.5 Электробезопасность

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Пороговые (предельные) параметры тока для организма человека. Пороговый ощутимый ток, поражая человека, может стать косвенной причиной несчастного случая, вызвав произвольные ошибочные действия, усугубляющие существующую ситуацию (работа на высоте, вблизи токоведущих, движущихся частей и т. д.). Увеличение сверхпорогового ощутимого тока вызывает у человека судороги мышц и болезненные ощущения.

Самым опасным параметром электрического тока для организма человека является сила тока. Ток, при котором пострадавший не может самостоятельно освободиться от токоведущих частей, именуется не отпускающим. Человек начинает ощущать болезненное действие тока при силе свыше 0,02А (20мА). Напряжение до 40В безопасно для человека. Частота тока для организма человека наиболее опасна в пределах 40—100Гц. Сопротивление тела человека — величина индивидуальная для каждого в отдельности и колеблется в больших пределах.

Виды воздействия электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма — возбуждение, что обуславливает произвольное сокращение мышц.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76.

ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13 определяют в отношении опасности поражения людей электрическим током следующие классы помещений:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:
 - a. сырости (влажность более 75 %) или токопроводящей пыли;
 - b. токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
 - c. высокой температуры (выше 35 °С);
 - d. возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.
3. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:
 - a. особой сырости;
 - b. химически активной или органической среды;
 - c. одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Рассматриваемый стояночный бокс относится ко второй категории помещений. Т.к. имеет токопроводящие полы, вероятно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям здания, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Электропоражения людей в условиях промышленного предприятия предупреждаются благодаря:

- a. техническим решениям, исключающим возможность включения людей в цепь тока между двумя фазами или между одной фазой и землей, способом, при котором токоведущие части, нормально находящиеся под напряжением, недоступны для случайного прикосновения. Это обеспечивается надежной

- изоляция, ограждением, расположением их на недоступной высоте или под землей, блокировками и другими способами;
- b. снятию напряжения с токоведущих частей во время работ, при которых не исключена возможность прикосновения к ним;
 - c. устройствам валентного заземления или автоматического отключения, обеспечивающим в случае повреждения изоляции и перехода напряжения на металлические части электроустройств ограничение напряжения по величине или отключение неисправного оборудования и аппаратуры;
 - d. применению в электроустройствах безопасного напряжения в зависимости от условий, в которых они эксплуатируются;
 - e. правильному выбору производственной среды. При этом следует иметь в виду, что влага, сырость, токопроводящая пыль, едкие пары и газы (ведущие к разрушению изоляции), высокая температура воздуха, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные и т. п.), наличие большого количества заземленного металлического оборудования повышают опасность электрических установок.

Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

7.6 Пожарная безопасность

Стояночный бокс – закрытое помещение для проведения ремонта и обслуживания спецтехники.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных

способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры: применение не горючих и трудногорючих веществ и материалов в производстве, ограничения количества горючих веществ и их надлежащее размещение; изоляция горючей среды; применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня и средств пожарной сигнализации.

Стояночный бокс оборудуется электрической пожарной сигнализацией, которая служит для быстрого извещения службы пожарной охраны о возникшем пожаре.

Помимо пожарного оборудования, в местах, определенных пожарной охраной, должны быть размещены пожарные щиты со следующим набором пожарного оборудования: топоров – 2; ломов и лопат – 2; багров железных – 2; ведер, окрашенных в красный цвет – 2; огнетушителей – 2 (в помещении имеется огнетушитель химический пенный ОХП-10).

При тушении пожаров в электроустановках возникает опасность поражения электрическим током. Необходимо отключить напряжение, прежде чем приступать к тушению пожара. Поражение электрическим током может наступить в результате ГОСТ 12.2 037-78:

- непосредственного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прохождения тока утечки через тело человека;
- попадание под шаговое напряжение.

Наибольшая вероятность поражения возникает в случае, при котором струя огнетушащего состава достигает частей электроустановки, находящейся под напряжением. Одним из решений является применение токонепроводящих огнетушащих составов, например, порошковых. Кроме того, возгорание возможно в труднодоступных для тушения частях установки.

Существенную роль в пожарной безопасности электроустановок играют правильный выбор и режим работы электрооборудования с учетом пожароопасности и взрывоопасности помещений.

В пожароопасных помещениях, как правило, применяются машины закрытого типа, защита и аппаратуры в пыленепроницаемом исполнении.

Для стояночного бокса установлен противопожарный режим и план противопожарных мероприятий. Составляются карточки тушения пожара и оперативный план пожаротушения. Оперативный план пожаротушения является основным документом, состоит из графической и текстовой части и разрабатывается предприятием совместно с пожарной охраной.

Пожарная профилактика традиционно ограничивалась обучением технике безопасности и мерами по предупреждению пожаров и всегда входила в обязанности муниципальных управлений пожарной охраны. Сегодня круг мероприятий по пожарной профилактике расширен, и в него вошли проверка и утверждение проектов строительства, контроль за выполнением норм по пожарной безопасности, борьба с поджогами, сбор данных, а также инструктаж и обучение широкой общественности и специальных контингентов.

Задачи пожарной профилактики можно разделить на три широких, но тесно связанных комплекса мероприятий: 1) обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении; 2) пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения; 3) обеспечение оборудованием и технические разработки.

7.7 Охрана окружающей среды

Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681.

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для отчистки газовых выбросов, сточных вод от примесей. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

7.8 Предотвращение ЧС и их последствий

Одной из основных задач при проектировании предприятия является повышения их устойчивой работы в чрезвычайных ситуациях.

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации в стояночном боксе: возникновение пожара и электропоражение.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой

на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Заключение

В результате выполненной выпускной квалификационной работы, разработан регулируемый асинхронный электропривод системы вентиляции производственного помещения.

В ходе работы был выбран двигатель серии АИР, мощностью 5,5кВт. Для данного двигателя были построены естественные механические и электромеханические характеристики. Был рассчитан и выбран преобразователь частоты серии VLT. Произведены расчеты и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода. Также была разработана скалярная система управления. В среде MatLab были построены имитационные модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат и скалярного способа управления.

В данный момент тема ВКР актуальна, так как в большинстве производственных помещений требуется установка системы вентиляции, которая обеспечит хорошие условия для рабочего персонала и очистит воздух от вредных примесей.

Список литературы

1. Вентилятор [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вентилятор> (дата обращения: 22.05.2018).
2. Вентиляционные системы. Естественная вентиляция в производственных помещениях [Электронный ресурс] <http://delta-grup.ru/bibliot/97/20.htm> (дата обращения: 22.05.2018)
3. Необходимость и разновидности вентиляции производственных помещений [Электронный ресурс] <https://www.proektant.ru/content/6293.html> (дата обращения 22.05.2018)
4. Предоставление услуг по аренде стояночного бокса для транспорта ЗАО "Ванкорнефть" [Электронный ресурс] http://tender.rosneft.ru/other_service/archive/2009/01-04_03_2009.html (дата обращения: 22.05.2018).
5. Электродвигатель АИР112М4 5,5 кВт 1500 об/мин [Электронный ресурс] http://megavattspb.ru/electrodvigatel_air_112m4.html (дата обращения: 22.05.2018)
6. Вентилятор радиальный среднего давления ВЦ 14-46-5 [Электронный ресурс] http://www.esbk.ru/products_info/vent/402_vent_rds/ventiliator_vc_14_46_5.html (дата обращения: 22.05.2018).
7. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Электронный ресурс] <http://www.vashdom.ru/snip/2.04.05-91/> (дата обращения: 22.05.2018).
8. Частотный преобразователь Danfoss VLT® серии 2800 [Электронный ресурс] http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/vlt_2800.html (дата обращения: 22.05.2018).
9. CM30TF24H [Электронный ресурс] http://www.symmetron.ru/suppliers/mitsubishi/pwm_data/00000079.pdf (дата обращения: 22.05.2018).
10. 26MT120PBF, Мостовой выпрямитель трехфазный 1200 В 25 А, Vishay Intertechnology [Электронный ресурс] <http://www.westl.ru/catalog/4/00001x0001x0001x0001x0006x0002/x30436/> (дата обращения: 22.05.2018).

- 11.ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
- 12.ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
- 13.ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
- 14.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
- 15.ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
- 16.СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
- 17.Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
- 18.СНиП П-12-77. «Защита от шума»
- 19.СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
- 20.ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
- 21.ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
- 22.ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
- 23.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
- 24.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
- 25.Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»
- 26.Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
- 27.ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

